

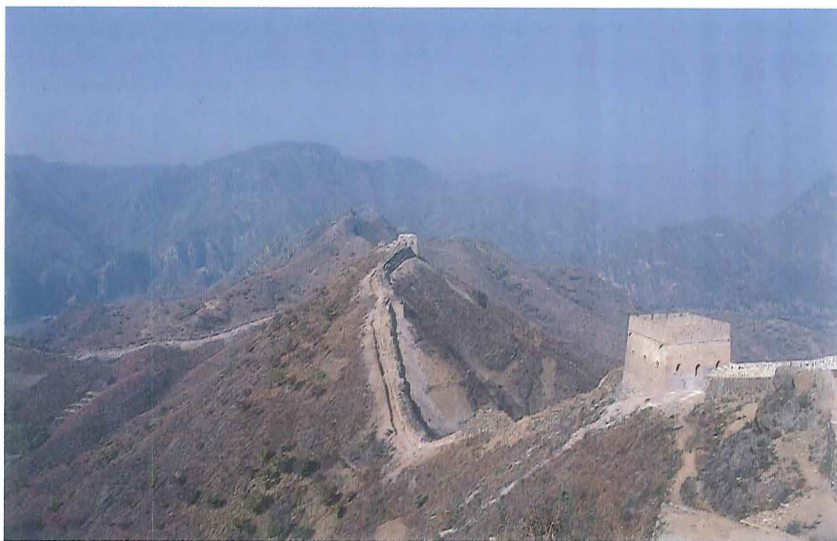
# Gammelt grundfjeld i Kina:



## Et geologisk rejsebrev

af David Bridgwater

Fra midten af 60erne og op gennem 70erne gennemgik geologien i vesten en idemæssig udvikling, der kan sammenlignes med den revolution, der fandt sted indenfor biologi efter Darwins bog, *Arternes Oprindelse*. Formuleringen af pladetektonik-teorien gav geologi en helt ny og dynamisk indfaldsvinkel, der forenede så forskellige dele af geologien som fordelingen af fossiler på kontinenterne og dannelsen af granitter. Pladetektonikken og kontinentaldrift blev almene geologiske begreber. Den næsten ukontrollerede vækst af nye ideer blev samtidig ledsaget af en næsten lige så hurtig udvikling af analysemetoder, der betød, at geologien blev helt oversvømmet af geokemiske data. Specielt inden for analyse af forskellige radioaktive isotoper og isotop-par, såsom U-Pb, Rb-Sr og Sm-Nd, medførte den instrumentelle udvikling, at forståelsen



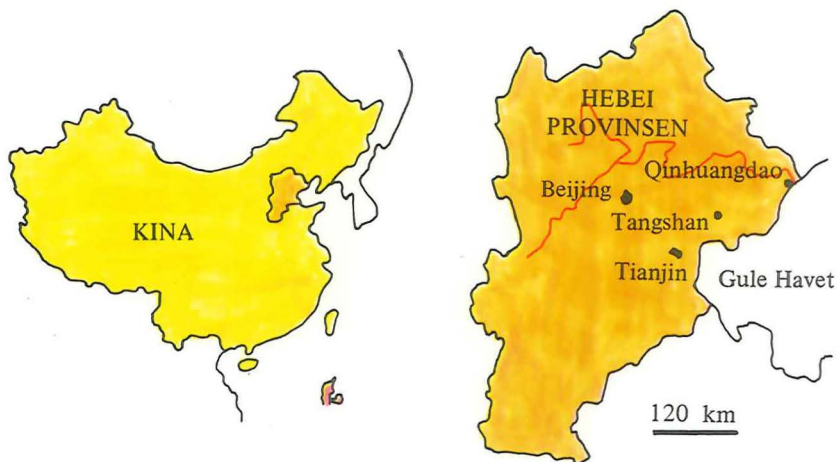
*Figur 1. Den kinesiske mur, her bygget på gamle Arkæiske bjergarter. Bjergene i baggrunden består af yngre, ikke metamorfoserede sedimenter.*

af en række geologiske processer som f.eks. dannelsen af bjergartssmelter forbedredes meget. Og især indenfor den ikke-fossilførende periode, Prækambrium, gav disse isotop-analyser mulighed for en bedre aldersopdeling af geologiske hændelser. Alt i alt blev geologi i vesten i denne periode mere og mere afhængig af laboratorie-undersøgelser, og i langt mindre grad præget af observationer af bjergarternes forekomstmåde i deres naturlige omgivelser, i felten.

I Kina var den samme periode præget af en helt anden udvikling. I 1966 satte rødgardisterne næsten landet i stå, og Mao's doktrin om Kina som selvforsynende land kom også til at omfatte videnskab, og kontakten til vestlige og russiske videnskabsfolk blev så godt som indstillet. Kina var alt for engageret i sin egen kulturelle revolution til også at bekymre sig om eventuelle revolutioner indenfor geologi. Mao-epokens afslutning, der geologisk markeredes af jordskælvet i Tangshan i 1976, sandsynligvis den værste naturkatastrofe i et enkelt land i historisk tid, medførte en ændring i de politiske holdninger og en gradvis åbning af landet overfor fremmede eksperter.

De første geologer, der besøgte Kina efter kulturrevolutionen, omfattede især laboratorieorienterede geokemikere og isotopgeologer, der hjalp kineserne med at etablere deres egne laboratorier til analyse af bjergarter. I 1985 havde både de kinesiske geologer og deres laboratorier opnået en meget høj international standard. Og fra 1980 har geologiske fagtidsskrifter offentliggjort et stadigt stigende antal artikler om kinesisk geologiske forhold, skrevet af kinesiske geologer, der har kombineret vestlig teknologi og pladetektonikkens terminologi med feltbegreber og ideer udviklet i Kina i det foregående ti-år med relativ isolation. Ikke alle disse artikler er lige lette at læse, og man efterlades af og til med en usikkerhed med hensyn til, om denne vanskelighed måske skyldes forskelle i udvikling af kinesisk og vestlig geologisk tankegang i kulturrevolutionens ti-år. Det gælder måske især inden for beskrivelsen af bjergarter fra jordens tidligste periode, nemlig Arkæikum.

I vesten har opfattelsen af Arkæikum udviklet sig meget hurtigt de sidste ti år på grund af et massivt bombardement af nye analyseresultater og især isotop data. Danske geologer har spillet en central rolle i denne udvikling. Omhyggeligt feltarbejde i f.eks. Grønland har givet den feltmæssige geologiske baggrund, der var nødvendig for tolkningen af de ofte meget komplicerede geokemiske resultater. En rolle har opdagelsen af nogle af verdens ældste bjergarter i Grønland og Labrador spillet, da dette har medført, at nogle af verdens førende analyse-laboratorier har samarbejdet med Grønlands Geologiske Undersøgelse og danske universiteter på fælles forskningsprojekter. Det vigtigste danske bidrag til udforskningen af Arkæikum har nok været, at der er kommet en større forståelse af det samspil af komplicerede metamorfe og magmatiske processer, der sammen med deformationer i jordskorpen har givet disse gamle bjergarter deres nuværende udformning og kemiske karaktertræk.



Figur 1. Oversigtskort. Til venstre ses Kina (gult), Hebei provinsen med orange og - som målestok Danmark (rødt). Til højre ses Hebei provinsen, med rødt er vist den østlige del af den kinesiske mur.

I Kina findes sådanne ældgamle, Arkæiske bjergarter bl.a. i den østlige Hebei provins, der ligger mellem Beijing og Stillehavet. Området her har været udsat for den højeste grad af metamorfose, granulit- og amfibolit-facies, svarende til omdannelse af de oprindelige bjergarter i området under tryk svarende til 20-30 km's dybde og temperaturer mellem 700 og 800°C. Ifølge kinesiske geologer kan de oprindelige bjergarter i Hebei provinsen opdeles i sedimentære og vulkanske bjergarter, ligesom de dybest beliggende bjergarter bliver anset for at være de ældste, medens de højere liggende bjergarter er yngre. Denne enkle opdeling af bjergarter fra den nedre del af jordens skorpe som værende ældst svarer ikke til den opfattelse og erfaring danske geologer har fået fra Grønland og Labrador, hvor blandt andet observationer i felten peger på, at bjergarter af meget forskellig alder kan blandes sammen i et område gennem overskydninger på tidspunktet for den højeste omdannelse (metamorfose) i området.

I den østlige del af Hebei provinsen støttes den enkle model for områdets opbygning da heller ikke af isotop-analyser og af aldersbestemmelser på bjergarterne. De bjergarter, der i felten ser ud til at være ældst giver således aldre omkring 2500 millioner år, medens nogle af de tilsyneladende yngre bjergarter har aldre på op til 3500 millioner år. Det vil sige, at enten har de kinesiske geologer været lidt for optimistiske i deres tolkninger af felt-observationerne, eller også må isotop-resultaterne tolkes på en anden måde end de hidtil er gjort. For kineserne er der ikke tale om en ren akademisk diskussion, idet hovedindustrien i området er minedrift. Således findes der guldminer i området, der er kortlagt som det yngste, medens jernminer findes i de områder, der traditionelt



er blevet betragtet som de ældste. Et godt kendskab til bjergarternes egentlige alder vil således kunne spare Kina for store omkostninger i forbindelse med fortsat efterforskning efter forekomster. Så kunne en geologisk model som den fra Grønland og Labrador opstilles for Hebei provinsens Arkæiske bjergarter, med en tektonisk blanding af bjergartsskiver af vidt forskellig alder, ville en stor del af uoverensstemmelserne mellem feltgeologer og laboratoriegeologer kunne bringes ud af verden.



*Figur 3. Yngre mesozoiske graniter forvitrer nogenlunde let og fremstår som et spændende og malerisk landskab.*

Det var på denne baggrund jeg blev inviteret til at deltage i feltarbejde i Arkæiske bjergarter i den østlige del af Hebei provinsen sammen med Dr. Sun Dazhong og Yang Chungliang fra The Chinese Academy of Geological Sciences i Tianjin, og til at give et par forelæsninger i Tianjin. Det Kineske Akademi betalte alle udgifter i Kina, medens Carlsberg Fondet betalte rejsen til Riget i Midten. Feltarbejdet blev en meget stor succes, ligesom de kinesiske geologer syntes at være tilfredse med forelæsningerne, der viste sig at komme til at vare ialt 42 timer fordelt på 8 dage. Til min store overraskelse overlevede både tilhørerne og jeg selv denne maraton-forestilling af en forelæsningsrække.

## GEOLOGI I HEBEI PROVINSEN

Hebei provinsen i det østlige Kina er overvejende et landbrugsområde med en befolkning på 53 millioner, der især er koncentreret omkring de store byer Beijing og Tianjin, der er havnebyen til hovedstaden Beijing.

De Arkæiske bjergarter i den østlige del af Hebei provinsen danner et 100 x 200 km stort rombeformet område, der strækker sig ca. 50 km øst for Beijing og ud til kysten ved Quihuangdao, stedet hvor også den kinesiske mur møder Stillehavet. I den sydlige del ses de Arkæiske bjergarter som isolerede bakker og lave bjerge på den nordkinesiske slette, medens de mod nord danner en mere sammenhængende ryg med bjergtoppe på op til 1800 m. De Arkæiske bjergarter er delvis dækket af yngre Prækambriske sedimenter og lavaer og intruderet af Mesozoiske granitter. Der er stadig aktive bevægelser i området i form af forkastningsdannelse, og centret for Tanshan jordskælvet i 1976 lå på en større struktur i den østlige del af Hebei provinsen.



*Figur 4. Blik ud over den intensivt opdyrkede Hebei provins, hvor der er terrassedyrkning på næsten alle skråninger og på den nordkinesiske slette. De Arkæiske bjergarter står frem som isolerede småbakker og bjerge i baggrunden.*

Det geologiske kort over de Arkæiske bjergarter i den østlige del af Hebei viser to hovedinddelinger: *Qianxi gruppen* som ifølge de almindelig accepterede modeller er tidligt Arkæikum, og *Badaohe gruppen*, som beskrives som sent





Arkæisk af alder. Qianxi gruppen består af store enheder af kvartsbåndet jernmalm, pyroxen-biotit gnejser med en sandsynlig fortid som sure vulkanitter, og amfibolitter dannet ved metamorfose af basiske vulkanitter. Disse bjergarter er koncentreret i den sydlige del af området og indeholder almindeligvis mineraler typiske for granulit-facies bjergarter. Badaohe gruppens bjergarter svøber sig rundt om Qianxi gruppen i en halvmåne-formet bue og er domineret af amfibolitter, som menes dannet ved metamorfose af basiske vulkanske bjergarter. Disse bjergarter er dog ikke blevet påvirket af så høje tryk og temperaturer som Qianxi gruppens amfibolitter, hvilket kunne skyldes, at de er aflejret på et ældre underlag af bjergarter, der allerede på et tidligere tidspunkt var blevet påvirket af en højere grad af metamorfose. Øverst i Badaohe gruppen er der også kvartsbandede jernmalme og sedimenter, hvori der indgår sure vulkanske bjergarter, som i Qianxi gruppen, men disse er metamorfoserede under mindre metamorfosegrader i amfibolit-facies.

Geologiske beskrivelser tyder på, at Qianxi gruppen er blevet kraftigere smeltet op i forbindelse med intrusion af senere granitter end Badaohe gruppen.



*Figur 6. Unge Arkæiske bandede jernsten, der muligvis er skudt op over ældre gnejser, der har gennemgået en høj grad af metamorfose.*

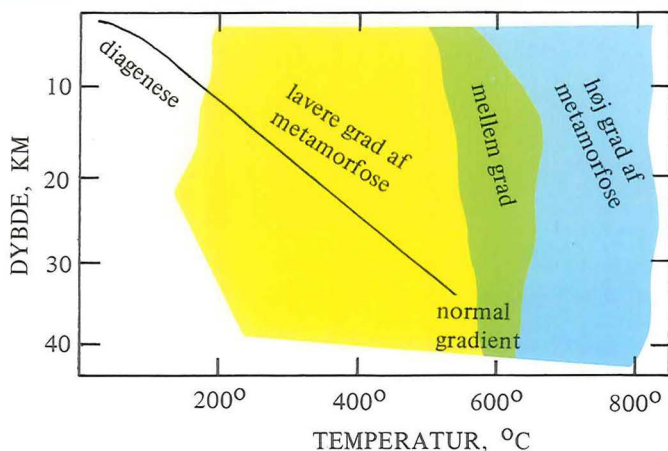
De første aldersbestemmelser på bjergarter fra Hebei området blev foretaget af kinesiske laboratorier ved hjælp af Rb-Sr metoden og gav aldre på omkring 3500 millioner år, for Qianxi gruppen, men uheldigvis var denne alder behæftet med en ret stor usikkerhed. Efterfølgende arbejde af laboratorier i Austra-

lien og Frankrig på samme slags bjergarter, men med en større variation i deres sammensætning, støttede ikke denne høje alder. Bestemmelserne ved hjælp af Sm-Nd metoden gav en alder på 2500 millioner år på materiale, der ud fra feltobservationer blev anset for at være noget af det bedst bevarede af de gamle bjergarter, medens granitter, der i felten syntes at være langt yngre, gav en alder på 2700 millioner år. Og for at gøre det hele endnu værre fik det franske laboratorium en alder på 3500 millioner år på amfibolit-facies bjergarter fra et område, der ifølge feltgeologerne skulle være meget yngre. Så feltgeologer og laboratoriegeologer var totalt uenige.

### LIDT OM METAMORFOSE

Når bjergarter, for eksempel sedimenter i forbindelse med en bjergkædefoldning begravnes dybt i jordens skorpe, sker der en kraftig omdannelse af de oprindelige bjergarter som følge af de ændrede tryk og temperaturer, de udsættes for. Eksisterende mineraler omdannes, og der opstår omkrystalliserede eller metamorfoserede bjergarter med et indhold af nydannede mineraler, der ikke var til stede i de oprindelige bjergarter.

Afhængigt af hvilke nye mineraler, der er blevet dannet under metamorfofen, kan man skelne mellem forskellige grader af metamorfose (se figuren). Ved de helt lave temperaturer, måske under de 200 grader, sker der ikke nogen egentlig metamorfose. De ændringer, der finder sted henregnes til diagenesen, og omfatter en sammentrykning af lagene. Ved temperaturer højere end 200 grader begynder den egentlige metamorfose, og ved en høj grad af metamorfose sker der ofte en delvis opsmeltning af de faste bjergarter, så der er en glidende overgang mellem metamorfe processer og magmatiske processer. Denne høje grad af metamorfose findes kun dybt i jordens skorpe.





Mit første indtryk af de feltgeologiske forhold talte ikke til gunst for den feltgeologiske tolkning. Der var simpelt hen ikke så mange blotninger, som vi anser for at være nødvendige for at vurdere den geologiske historie i f.eks. Grønlands Arkæiske områder. Hvad der var endnu værre var, at granulit-facies metamorfosen, der var blevet brugt som kendetegn for geologiske begivenheder forud for aflejringen af Badaohe gruppens bjergarter, viste sig i det store og hele at skyldes varmepåvirkning fra en række forholdsvis unge granitiske intrusioner. I den sydlige del af området størkner disse granitter i dybet fra tørre bjergartssmelter, og ligesom de bjergarter fra Qianxi gruppen de er intruderet i, indeholder de mineralet hypersten, som viser at omdannelsen (metamorfosen) har fundet sted under granulit-facies betingelser. Følger man disse granitter nordpå ind i Badaohe gruppens amfibolitter bliver de gradvis fattigere på hypersten og rigere på mineralet hornblende, hvilket viser at de her er størknet fra en mere vandholdig bjergartssmelte og på lavere dybde. Så det der skulle have været et sikkert kriterium til bestemmelse af Qianxi og Badaohe gruppernes relative alder blev hovedsageligt til et kriterium for intrusionsdybden af granitiske bjergarter fra en magmatisk periode, der var meget yngre end de to gruppers bjergarter.



*Figur 7. Amfibolit facies gnejser fra landsbyen Huangbaiyu. Det mørke materiale lige under hammeren giver en Sm-Nd isokron alder på 3500 millioner år, de lyse årer en alder på ca. 2500 millioner år. Det er blotninger med sådanne blandede bjergarter, som gør tolkningen af isotopresultaterne meget vanskelig, hvis prøverne er blevet tilfældigt indsamlede.*



*Figur 8. Granulit facies gnejsjer tæt ved landsbyen Goujiagou.*

Det var heller ikke på anden måde muligt at kende forskel på bjergarterne fra de to grupper. For eksempel var der ingen aflejringskontakter mellem bjergarter kortlagt som tilhørende den ældre Qianxi gruppe og den overliggende Badaohe gruppe. Der var heller ikke mulighed for at se, om den bjergartsserie nu lå, som den oprindeligt var blevet aflejret, eller om de var blevet vendt på hovedet eller måske skudt sammen i skiver, som man kan se det i Alperne i dag, og som vi antager, at de Arkæiske områder i Grønland er opbygget. Så den geologiske model så usikker ud !

Men de kinesiske geologers viden om bjergarterne i feltet var imponerende. De havde arbejdet med dem i mange år og var i stand til at vise mange fine detaljer, der gjorde det muligt for dem at korrelere bjergartsenheder over store afstande inden for området og få et overbevisende geologisk kort tegnet. Det blev da også klart under feltarbejdet, at skønt det ikke var muligt at bevise, at Qianxi gruppen var ældst, så virkede det i hvert fald som om den havde været igennem en mere kompleks geologisk historie end Badaohe gruppens bjergarter. Men hvis feltmodellen i det mindste var nogenlunde rigtig, så måtte man finde en forklaring på, hvorfor aldersbestemmelserne gav et modsat billede. Men for at forstå, hvorfor tilsyneladende gode aldersbestemmelser, udført af de bedste laboratorier i verden, muligvis kunne være geologisk set vildledende, er det nødvendigt at se på, hvordan sådanne aldersbestemmelser udføres og hvilke forudsætninger tolkningerne er baseret på.



Aldersbestemmelser af bjergarter er baseret på det simple princip at et radioaktivt grundstof (moderelementet) henfalder til et andet (datterelementet) med en kendt hastighed. Måler man mængden af moderelementet, der findes lige nu og mængden af nydannet datterelement, så har man en enkel og pålidelig metode til måling af bjergarters alder. Desværre er det kun sjældent muligt at måle disse forhold direkte, idet de fleste bjergarter indeholder moderelementet og datterelementet sammen med en ukendt mængde af samme grundstof som datterelementet, fra før det geologiske ur blev sat igang.

Ser vi på et af de mest anvendte moder-datter-isotopsystemer, Rb med massen 87 ( $^{87}\text{Rb}$ ), som henfalder til Sr med massen 87 ( $^{87}\text{Sr}$ ), så kan vi måle mængden af  $^{87}\text{Rb}$  i en prøve, den totale mængde Sr i prøven, og mængden af isotopen med massen 87 i Sr. Men hvis vi ikke ved hvor meget af denne Sr med massen 87 der var tilstede, da den bjergart vi aldersbestemmer blev dannet (f.eks. en granit), er vi ikke i stand til at beregne alderen.

Vi kan løse dette problem ved den såkaldte isokron metode. Tager man en række bjergartsprøver dannet på samme tid fra den samme kilde og måler forholdet mellem Sr med massen 87 og massen 86 samtidig med at vi måler forholdet mellem Rb og Sr, vil vi opdage, at jo højere forholdet mellem Rb og Sr er, jo højere vil forholdet mellem Sr med massen 87 og 86 være (Sr med massen 87 dannes hele tiden ved henfald af Rb med massen 87).

Plotter man resultaterne i et diagram vil prøvepunkterne ligge på en ret linie. Jo stejlere linien er, jo højere vil alderen være, idet der vil dannes mere Sr med massen 87 jo højere alderen er. Linien der forbinder punkterne i diagrammet kaldes en isokron. Linien giver os dels alderen, udtrykt ved liniens hældning, dels oplysningen om forholdet mellem Sr med massen 87 og massen 86 på det tidspunkt bjergarten blev dannet. Isokronens skæring med den lodrette akse kaldes det oprindelige isotopforhold. Dette forhold er meget vigtigt, for bjergarter, der har været lang tid i jordskorpen har et højere forhold mellem Sr med masserne 87 og 86, end bjergarter der kommer fra kappen. De har næsten ikke noget Rb i sig, og derfor nydanner de ikke Sr med massen 87.

Udtrykt geokemisk så vil en bjergart dannet udfra skorpemateriale med en lang historie bag sig have et højere oprindeligt forhold mellem Sr med masserne 87 og 86 end bjergarter afledt fra en Rb fattig kilde som f.eks. jordens kappe eller et basaltisk materiale i skorpen med en kappe-lignende geokemi. Derfor er det muligt at afgøre, om en bjergart er dannet ved opsmeltning af eksisterende kontinental jordskorpe-materiale eller kappemateriale ved at måle dens oprindelige forhold mellem Sr med masserne 87 og 86. Et af de centrale spørgsmål i prækambrisk geologi: om den Arkæiske kontinentale jordskorpes bjergarter dannedes tidligt i jordens historie og derefter blev opsmeltet i forbindelse med senere begivenheder, eller om de blev dannet gennem en mere kontinuerlig proces fra jordens kappe, skulle kunne afgøres ved bestemmelse af de oprindelige Sr isotopforhold.



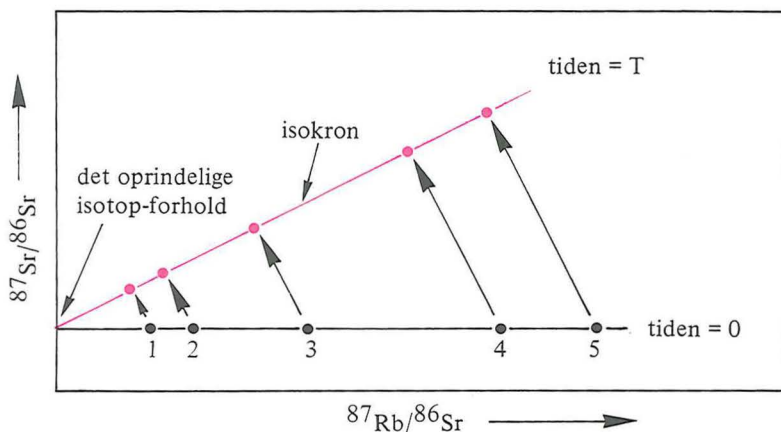
## ISOKRONER OG ALDERSDATERING

Prøver af bjergarter eller mineraler, der er dannet ved størkning af en bjergartsmelte, har på dannelsesetidspunktet (størkningstidspunktet) det samme  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -forhold. Hvis der på dette tidspunkt er forskelle i de enkelte prøvers indhold af  $^{87}\text{Rb}$ , vil denne forskel medføre, at prøverne efter en vis tid får forskellige  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  forhold, fordi en del af det oprindelige indhold af  $^{87}\text{Rb}$  vil være omdannet til  $^{87}\text{Sr}$ .

Jo mere  $^{87}\text{Rb}$  en prøve indeholder fra begyndelsen, jo mere  $^{87}\text{Sr}$  vil der blive dannet. Dette er vist i figuren for 5 prøver, der fra størkningstidspunktet havde et forskelligt indhold af  $^{87}\text{Rb}$ . Medens alle 5 prøver på dannelsesetidspunktet vil ligge på en vandret linie i det viste diagram, fordi deres  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  forhold er ens, så vil omdannelsen af  $^{87}\text{Rb}$  til  $^{87}\text{Sr}$  medføre, at prøverne efter en vis tid (=T) ligger langs en ny linie. Denne linie kaldes isokronen, og er i figuren vist med rødt.

Isokronen kan bruges til at bestemme det oprindelige isotopforhold ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), der igen fortæller noget om prøvernes oprindelse, for eksempel om en bjergartsmelte er dannet i jordens kappe eller skorpe. Hældningen af isokronen er endvidere et udtryk for prøvernes aldre, det vil sige den tid, der er gået, siden bjergarterne blev dannet. Jo stejlere isokronen er, jo ældre er prøverne.

Det ses endeligt i figuren, at jo større variation i  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -forholdet i en række prøver er, jo bedre kan isokronen bestemmes, og jo sikrere bliver både prøvernes aldre og deres oprindelige isotopforhold.



Et andet moder-datter isotop-par der i stigende grad bliver brugt til isotopaldersbestemmelser er de sjældne jordarts grundstoffer Samarium og Neodym. I dette tilfælde henfalder moderisotopen  $^{147}\text{Sm}$  til datterproduktet  $^{143}\text{Nd}$ .

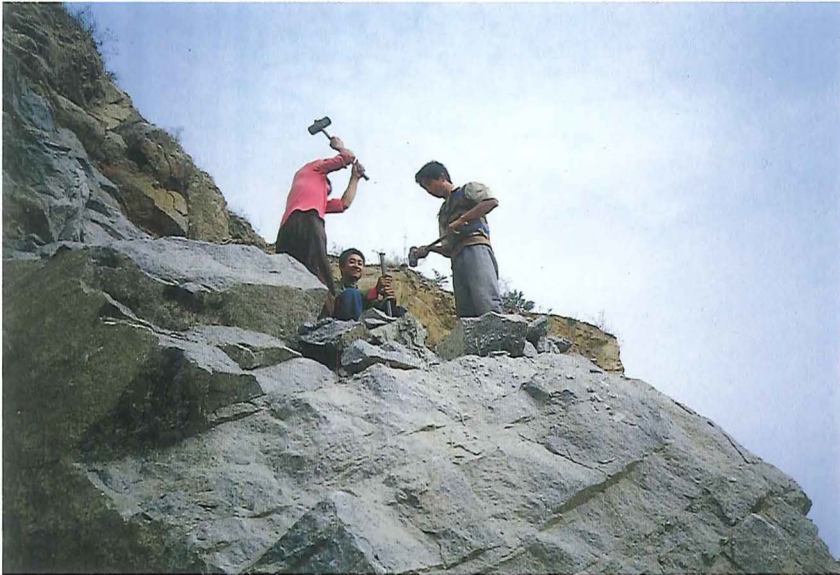
Dateringsmetodikken svarer i øvrigt nøje til den, der er beskrevet for Rb-Sr systemet. Der er dog to gode grunde til at aldersbestemme bjergarter ved såvel Rb-Sr som Sm-Nd metoden. Først og fremmest er både Sm og Nd sjældne jordarter og ligner hinanden meget. Dette betyder, at begge elementer opfører sig på samme måde under de forskellige geologiske processer, som kunne tænkes at have påvirket en serie bjergarter efter deres dannelse. Det er derfor meget vanskeligt at ændre dette isotop-forhold og dermed aldersindikationen i en bjergartsserie, der senere udsættes for eksempelvis stærk metamorfose. For det andet var det - i modsætning til Rb-Sr systemet - moderelementet Sm, der blev koncentreret i kappen, da skorpe og kappe tidligt i jordens dannelseshistorie blev adskilt. Dette betyder, at der udvikles mindre af datterproduktet  $^{143}\text{Nd}$  i skorpen end i kappen. Bjergarter, der dannes ved opsmeltning af gammel skorpe, vil have et lavere oprindeligt  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  forhold end bjergarter dannet ved opsmeltning af kappen. En kombination af et oprindeligt lavt  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  forhold og et oprindeligt højt  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  forhold er derfor et stærkt tegn på, at en bjergartsserie dannedes fra skorpen.



*Figur 9. Amfibolit facies gnejsler fra den nordlige del af Hebei provinsen. Europæiske geologer kortlagde bjergarten som en granitisk gnejs med indeslutninger af mørkt materiale. Kineserne lægger mere vægt på indeslutningerne og ville beskrive enheden som en vulkansk bjergart, der var blevet brudt i stykker af sene Arkæiske granitårer.*

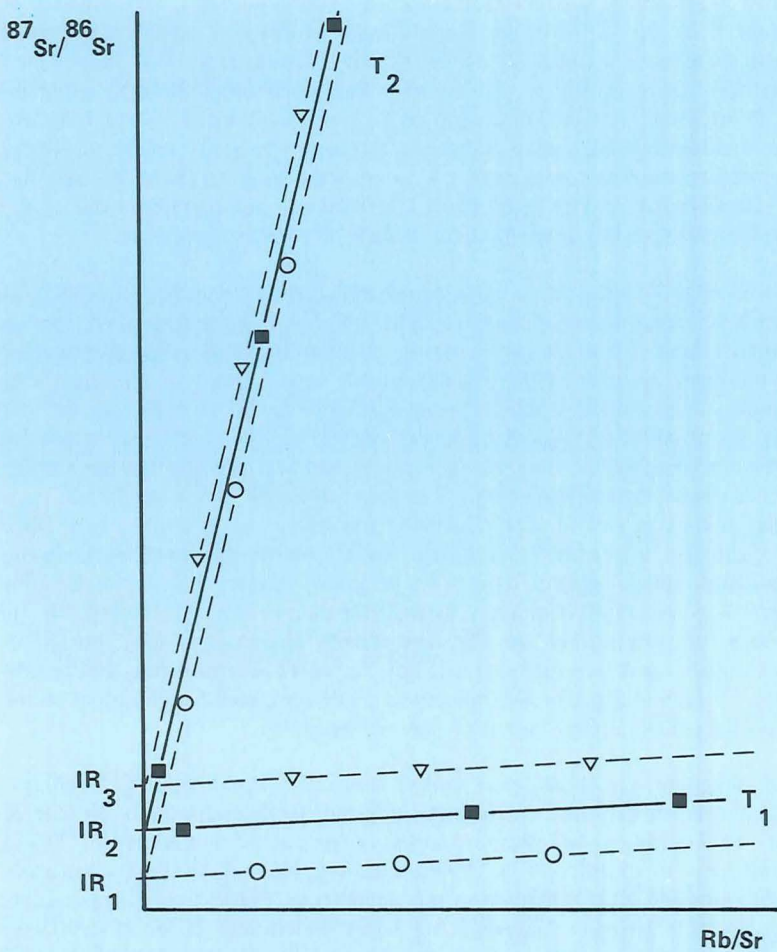


Et sidste punkt må omtales ved en vurdering af, om isotopmålinger er nok til at tilbagevise den model, som feltgeologerne har opstillet for Hebei provinsen. Det er det resultat man får ved at kigge på isotopsystemer, som startede deres udvikling for mere end 2500 millioner år siden. Tager vi f.eks. en blandet gruppe af prøver af gabbroer og granitter fra et magmatisk kompleks fra Tertiær tiden, som vi f.eks. kan finde det i Østgrønland, vil isotopundersøgelser af bjergarterne fortælle os, om bjergarterne blev dannet på samme tidspunkt, og om de kom fra samme udgangsmateriale. Falder analyse-resultaterne tæt på en isokron i enten et Rb-Sr eller Sm-Nd diagram, er der således gode muligheder for, at vi har at gøre med en gruppe bjergarter, der både kommer fra samme udgangsmateriale og har samme alder. Bekræftes dette ved at anvende mere end een metode, er man selvfølgelig på langt mere sikker grund. Spredningerne på hver side af vor isokron, er der derimod langt mindre sandsynlighed for, at vi har med en enkelt gruppe bjergarter at gøre. Hvor stor spredningen omkring linien egentlig er, kan prøves ved hjælp af statistiske metoder.



*Figur 10. Meget af Kinas geologiske industri er helt på højde med den, vi kender fra vesten. Store maskiner flytter de brudte bjergarter, kilometerlange transportbånd og moderne oparbejdningsanlæg. I den situation forekommer det lidt mærkeligt at se, at hullerne til sprængladninger, der senere skal flytte tonsvis af sten, hamres ud ved håndkraft i stedet for at anvende boreudstyr. Hvor et trykluftbor kunne lave huller i løbet af en times tid, anvender flittige kinesere mange timer med mejsel og hamre.*





Alderseffekten på isokroners kvalitet i forbindelse med stigende alder. Nederst i diagrammet ses prøver fra 3 forskellige geologiske enheder med samme alder,  $T_1$  (f.eks. 50 mio år), men med forskelligt oprindeligt isotopforhold ( $IR_1$ ,  $IR_2$ ,  $IR_3$ ). Indsamles prøver ukritisk fra de tre enheder fås en stor spredning om en fælles  $T_1$  isokron. Analyseres de samme prøver til tiden  $T_2$  (f.eks. 2500 mio år senere) vil spredningen om  $T_2$  isokronen være tilsyneladende meget mindre end spredningen om  $T_1$  isokronen, og man kan tro at man har med en egentlig isokron at gøre.

Når man beskæftiger sig med bjergarter med voksende aldre, vil mængden af nydannet  $^{87}\text{Sr}$  og  $^{143}\text{Nd}$  stige. Spredningen omkring en isokron udtrykkes ved den vinkelrette afstand fra datapunkterne til isokronen. Ved simpelt hen bare at blive ældre og ældre vil bjergarter, som er af forskellig alder og oprindelse, efterhånden komme til at ligge på en isokron. Arkæiske bjergarters isokroner skal almindeligvis være bedre end isokroner fra yngre bjergarter, før vi kan acceptere resultatet som tegn på, at en serie bjergartsprøver er dels lige gamle, og dels har samme oprindelse. I artikler om aldersbestemmelse af Arkæiske bjergarter er det sjældent at finde sådanne perfekte isokroner.

Vi kan nu se lidt mere kritisk på isotopbeviserne for alderen og oprindelsen af bjergarterne i Arkæikum i det østlige Hebei provins. Først kan vi konstatere, at isokronerne langt fra er perfekte. Havde vi kunnet analysere bjergarterne for 2500 millioner år siden, ville vi sandsynligvis have kunnet se en meget stor spredning i diagrammet, hvad der i dag skjules på grund af den lange tid, der er gået. Ser vi på feltforholdene og de lokaliteter, hvor de analyserede prøver er indsamlet er spredningen ikke overraskende. Laboratoriegeologerne har nemlig, da de har ønsket bjergartsprøver med en stor spredning i den kemiske sammensætning, samlet prøver af klart forskellig oprindelse og også med forskellige aldre. Geologisk set strækker materialet sig fra indeslutninger af gamle basalter, granitter, lokale smelter dannet da de gamle basalter blev udsat for høje temperaturer under metamorfose, pegmatiter dannet efter metamorfose. De forskellige isotop-resultater for alle disse prøver falder tæt på en 2500 millioner år isokron, og det er rimeligt at antage, at dette rent faktisk afspejler tidspunktet for en vigtig geologisk begivenhed i området, som for eksempel kunne være metamorfose under høje tryk og temperaturer.

Vi kan nu spørge, om Arkæikum i Kina er forskelligt fra Arkæikum i Grønland. Kan man anvende kriteriet: De nederste bjergarter er de ældste og de øverste de yngste i et område der har været udsat for en høj grad af metamorfose? Svaret skal nok være et kvalificeret ja! Enhver der arbejder i Arkæikum i det nordatlantiske område vil øjeblikkelig se mange ligheder. Begge områder er domineret af granitisk intrusivt materiale, og begge indeholder rester af overfladebjergarter af forskellig alder og type, som er påvirket af mere end en periode med en høj grad af metamorfose. Det er dog ikke muligt at overføre den nordatlantiske model direkte til det østlige Hebei. Selvom de gamle bjergarter i det østlige Hebei er brudt op og deformeret lige så meget som tilsvarende bjergarter i Grønland, er det muligt, at de viser en mere sammenhængende stratigrafi, end vi umiddelbart bemærker. Den geologiske model, der er opstillet af kineserne, med to hovedgrupper af sedimentære og vulkanske bjergarter, er ikke bevist endnu, men virker sandsynlig på grund af deres nære kendskab til bjergarterne.

En besøgende kan bidrage med forslag til at bevise eller modbevise modellen, men ændre den fundamentalt på den korte tid et besøg varer, er ikke muligt.

Dette vil hellere kunne gøres med aldersbestemmelser ved hjælp af isotop-analyser, med mindre de bliver meget omhyggeligt sammenholdt med geologien i felten.

Så til trods for krige, kultur-revolutioner, og indre opstande har den Arkæiske geologi i Kina en solid videnskabelig basis, først og fremmest på grund af detaljerede felt-observationer og mange års erfaring. På nogle punkter virker det, som den geologiske forståelse i Kina er langt mere udviklet end i dele af vesten, hvor vi næsten er ved at glemme, at geologi først og fremmest har noget med naturen at gøre, og i langt mindre grad skabes i laboratoriet alene.



*Figur 11. Hebei provinsen er dog ikke udelukkende Arkæisk geologi, selv om dette aspekt tiltaler en geolog meget. Provinsen er også præget af intensiv dyrkning af en lang række forskellige afgrøder. Den nyligt foretagne liberalisering af handelslovene og den nære beliggenhed af millionbyerne Beijing og Tianjin har betydet, at befolkningen i den østlige del af Hebei er ret velstående, idet en stor del af produktionen kan sælges på det frie og private marked. For at vende lidt tilbage til det geologiske har en hel del bønder i området yderligere suppleret deres indkomst ved privat guldudvinding ved både at vaske guld i flodgrus, og ved at udvinde guld fra kvartsårer i bjergarterne.*