

一九五六年全國鐵道科學工作會議

論文報告叢刊

(32)

在沙漠地區建築鐵路的 研究和經驗

人民鐵道出版社

前 言

1956年全国铁道科学工作会议征集了技术报告、总结、论文三百余篇。它的内容，包括铁路业务的各个方面，基本上显示着全体铁路技术人员和有关高等学校教师们几年来在科学技术方面辛勤劳动的成果。对现场实际工作有参考价值，对铁路新技术的采用和发展方向，有启示作用。为此，刊印丛刊，广泛流传，保存这一阶段内的科技文献，以推动科学研究的进一步开展。

会议以后，我们对全部文件进行一次整编工作，然后组织部内设计总局、工程总局、工厂管理局、人民铁道出版社、车务、商务、机务、车辆、工务、电务各局、铁道科学研究院、北京和唐山铁道学院、同济大学、大桥、定型、电务等设计事务所的有关专业同志对每篇内容仔细斟酌，选择其中对目前铁路业务有广泛交流意义，或是介绍铁路新技术方向和系统的经验总结，将性质相近的文件合订一册，单独发行。为了避免浪费，凡是其他刊物或是以其他方式刊印过的文件，除特殊必要外，一般都不再刊载。出版顺序根据编辑和定稿的先后，排定丛刊号码，交付印刷，并无主次之分。

苏联铁道科学代表团在会议期间曾作过九次学术报告，我们已将文字整理，编入了丛刊。

文件中的论点，只代表作者意见，引用或采用时，还应由采用人根据具体情况选择判断。

丛刊方式还是一种尝试，我们缺少经验，希望读者提供意见，逐步地改进。

铁道部技术局

1957年2月

目 录

1. 包蘭綫中衛沙漠地区修筑铁路的第一次研究报告.....翁元庆 赵性存
2. 包蘭綫中衛沙漠地区修筑铁路的第二次研究报告.....翁元庆
3. 半沙漠地区建筑路基经验总结.....铁道部新建工程总局第三工程局

包蘭綫中衛沙漠地区修筑鉄路的 第一次研究報告

鉄道科学研究院綫路研究組 翁元庆 鉄道部西北設計分局 赵性存

一、序 言

包蘭綫东起包头西迄蘭州，它是联接华北和西北两个新兴城市的大动脉。集二綫（集宁～二連）現已修筑完成，蘭新綫正在兴建，这两条国际幹綫要經過包蘭綫取得更为直接的連絡；这条鉄路綫对于我国国防和經濟建設都有很重大的意义，而列为新建綫路中重要幹綫之一。

蘭銀段是包蘭綫的一段重点工程，自蘭州至銀川約長 480 公里，1952年开始踏勘草測，1953年由西北設計分局第三勘测設計总队进行初測。当时选定由蘭州經靖远、中宁、青銅峽至銀川一綫，大致是沿着黄河南岸走的（简称南綫），測量到水泉、大营水一帶，發現1920年地震所造成的地面开裂長达22公里，地震烈度在9度以上。鉄道部苏联專家雪洛敏切夫和卡甫蘭洛夫兩同志应邀前往当地視察，確認該段地震情况恶劣，不宜采取南綫，建議在黄河北經過景泰、中衛至銀川另測一条北綫。根据地形來說，北綫比較平緩，且可避免跨过兩次黄河，工程費可省不少，但是必需經過騰格里沙漠的边緣，前后共有六个地段，总長有40公里的沙漠地帶，其中以中衛县西部自長流水至迎水桥一段沙漠的起伏最大，長达16公里。

在沙漠中修建鉄道，过去我們沒有經驗，更缺乏信心，南綫已經遇到地震区不宜通过，深恐北綫又被流沙所阻，故再度邀請苏联專家去現場查勘。經專家指出：这里的沙子所受大風吹颳的程度还不厉害，如經過实地試驗和研究，进行适当的防沙和固沙措施，在这沙区修建鉄路还是可能的，並建議成立沙漠观测站，进行風向、風速等气象观测和測定沙子的移动量，以供設計上的参考。1954年1月鉄道部西北設計分局第三勘测設計总队接受了這項建議，在茶房庙成立观测站开始工作。同年6月間南、北兩綫比較方案送經鉄道部鑒定，決定採用北綫，因此有关沙漠筑路的各項資料需要更为迫切。为此專家建議应在沙区修筑一段試驗路基，並經鉄道部命令鉄道科学研究院派人参加這項試驗工作，要从实地的試驗中为設計和施工摸索出一些經驗，为今后其他沙漠地区修筑鉄路打下基础。同年10月鉄道科学研究院和西北設計分局分別派員去現場进行試驗路基的勘测和設計工作，並在茶房庙附近試种了一些固沙植物，試驗路基在1955年2月开始施工，5月間全部完成。在这期間防沙柵欄有时被風吹坏，而路基和平台虽遇到多次七、八級大風，还是完整的，也沒有很大的积沙現象。

我們为了深入了解綫路以北广大沙区的情况，1955年5月邀請蘭州大学地理系王德基主任同去沙区北面进行了一次調查，途經長流水、上茶房庙、水梢子、通湖塩池等地折返茶房庙，行程約80公里，这次調查帮助了我們對於沙区的分佈情况和沙丘的成因与形态，有了进一步的認識。

一年多来，由於上級的正确領導、苏联專家的热情指导和当地政府的支援协助，我們进行了一些工作，初步摸到一点經驗，對於通过沙漠修建鐵路也有了信心。为了总结我們的工作和提出一些沙漠中修建鐵路的参考資料，現在把初步体会和經驗彙总的写出来。但是試驗路基方告完成，有待今后長期的观测和研究；1954年試种的植物虽已部分萌芽，也未經過寒暑气候的考驗，沙漠筑路的試驗工作仅仅是在开始阶段，而我們在这方面的認識又很少，對於學習苏联先进經驗也不够彻底，所以这个总结材料只能作为我們對於这一沙区的局部了解。沙漠的情况是随地而異的，今后还需要更多的努力和 research，我們希望有关方面給予帮助和指导，使這項工作能更好地开展起来。

二、沙区的分佈

在中衛县以西，蘭銀段由長流水至迎水桥一段路綫穿过騰格里沙漠向东南延伸部分的边缘，这段路綫長达16公里（圖一.1）。在这延伸部分的东面有賀蘭山山脉，根据中衛县志輿圖的記載：沙漠的边缘过去原以長城为界，經過長期移动逐渐向南伸展，沙丘越过長城达到迎水桥附近美利渠的岸边。西面是祁連山的余脈，在这次調查中沒有走到这一沙区的边缘。据老乡談：沙漠的寬度約15公里，北面沙漠为內蒙古自治区內通湖山所隔，沿通湖山兩旁，沙漠分成兩股向沙坡头一帶会合，通湖山北面是廣闊的騰格里沙漠，山的南面自团不拉水經水梢子至通湖塩池一帶带有草原、沼澤和固定沙丘，延長十几公里，形成这一延伸沙区的北緣。我們在这沙区中穿行兩次：自上茶房庙至团不拉水約寬17公里，自塩池至茶房庙約寬11公里。

中衛县志（1760年編制）地理志山川篇載：『沙山在县西五十里，因沙所积故名，为西通蘭涼（即蘭州、武威）驛路，随沙嶺曲折而上，三十里至長流水，人馬憚行，浮沙沒脛，元志所謂西据沙山是也』；同篇又載：『大沙子山在县西七十里，旧志云迤西近庄浪蘭州界，殆即今之寫沙坡』；古蹟考杂記篇載：『县西六十里外，旧皆沙蹟，沙湧若邱陵者已久』。从上述历史記載和当地老乡們談話中，可以說明这一沙区的分佈情况，至少在最近二、三百年以来沒有多大变化。

三、沙丘形成和各种自然条件的关系

I、地質和地形

內陆形成广大的流动沙丘，必須有充分的沙源。通湖山以北的广大地区——阿拉善地塊是由变質岩石和半变質岩石（包括花崗岩体）所組成的，从中生代以来这个地区沒有遭遇到重要的褶曲，長期受着严重的侵蝕，这些岩石中含有相当多的沙量，所以沙的来源是並不匱乏的。从我們調查区域内来看，能够产生沙源的地層却很少，在茶房庙河岸、長流

水至上茶房廂間和团不拉水至水梢子間，有些地方露出二疊三疊紀紫紅色堅硬砂岩；从孟家灣至長流水以西有些第三紀淡黃色黏土層复盖在砂岩的上面；第四紀地層有長流水以西窪地中的湖相沉积、沙区南緣和北緣的一些粉沙壤土、以及黄河岸的礫石層、流沙和固定沙丘等。所有以上各种地層除大量的流沙和少許礫石外，其他地層虽然受着严重的風化和侵蝕，但是数量極其微少，决不能作为沙丘形成的主要来源。因此这一沙区的流沙絕大部分是由阿拉善地塊——騰格里沙漠颳过来的。

从这延伸沙区的四周地形来看，南面有墩頂山、野貓子山和香山等阻擋着風势向南推进，茶房廂一帶靠近黄河北岸的积沙厚达60—70公尺，下临陡壁，流沙不断被河水携去；东南有美利渠，流沙颳入河渠也被水冲走，因而限制了沙丘向前进展；沙区的东面为賀蘭山所阻，北面通湖山把沙区分成兩股，这些山脈的形势造成了沙漠分佈的範圍。沿黄河一帶是沙区最低的地方，岸边海拔約1260公尺，茶房廂高为1350公尺，高出河岸150公尺，由茶房廂向西，地势漸高，至上茶房廂高达1670公尺，茶房廂北2公里处高为1500公尺，沙区的脊線由此經過，脊線以南成梯級狀直达河岸；塩池附近高为1405公尺，这里是沙区北緣最低的地方，向西北逐漸升高至团不拉水达1495公尺，由塩池向东南逐漸降低至迎水桥达1200公尺，这一帶沙丘逐漸向东南移动主要是由於風向的关系，而地势高低促其移动也是因素之一。

II、气 候

这一沙区位於夏季風区之外，荒漠的成因主要是由於北面的阿拉善旗地区距离海岸太远，夏季东南風沿渤海、黄海越过燕山山脈吹来，已成强弩之末，又被秦嶺、賀蘭山所阻，失去了致雨的功能，另一股西南季候風自印度洋吹来，被西藏高原所隔，湿气極少到达。根据茶房廂观测站1954年气象记录：年温差达 60.5°C ，日温差达 29.5°C ，年降水量亦仅177.8公厘，而蒸發量达到3031.6公厘，这样的干燥現象在阿拉善旗必然更为严重。那里的岩石日間受热膨胀，夜間受冷收缩，在乍冷乍热的情况下，岩石容易碎裂成为沙粒，随强大的西北風向东南移动，通过賀蘭山和祁連山余脈間的缺口，直逼黄河，在沙坡头一帶会合。根据那里的沙粒来看，它是由石英和長石細粒所組成，这和阿拉善地塊內部火成岩風化是分不开的。沙区内全年風向以西北和东南为最多，七級以上的大風則以西北風佔优势，此为造成沙丘向东南移动的主要动力。

III、水 文

黄河和美利渠位於沙区的南緣，阻断沙丘向南移动。在沙区边緣有許多泉流，泉水从沙層滲至紅色砂岩而流出，例如：沙坡头村后的艾溪灌溉着这个村落的菜園和菓木；長流水溝的泉水由窩沙坡流至孟家灣，沿溝一帶見有固定沙丘（圖—2.）；从团不拉水經水梢子至塩池一帶的泉源很多，遍地長着水草，这里是蒙族人民放牧和寄居的地方（圖—3.），通湖林場也是利用水源进行植林。由於上述水文情况，可見培育植物是可以阻止沙丘移动，而植物的成長和沙地所含水份又有其密切关系。



圖2. 長流水～上茶房庄一帶的半荒漠沙地，遍生老虎爪及棒條。



圖3. 水梢子～鹽池一帶的草原。

IV、植 物

沙区气候干燥，植物稀少，但就調查所知，过去沙地上的植物比較多，由於乡民任意砍伐和放牧，植物受到了严重的摧毁。据居民童开金談：二十年前沙地植物較多，每天可以上山砍柴三次，現在須走很远，一天只能砍一次。我們看到一队駱駝計有五十匹，滿載沙蒿，运去作为燃料（圖—4）。因此沙丘上的植物日漸稀疏，植物分佈范圍愈形縮小，使沙丘無所阻滯，自由地長期地漸漸移动。1954年10月間曾进行了一次沙漠中植物的調查，採集了32种植物标本，其中12种是从流动沙丘上採得的，抗旱性很强，繁殖起来可以固定沙丘，其余20种标本由沼澤及濱河地带採得，在高大的沙丘上不易生長，所以不是我們培育的对象。茲將採得的全部植物名称列表說明（表1）：

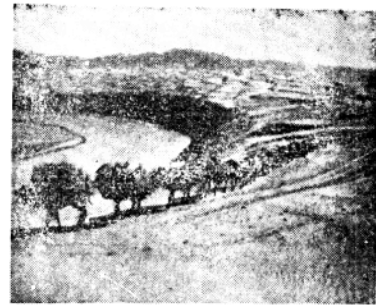


圖4. 大批駱駝馱運砍伐下來的固沙植物。

中衛沙漠地区植物名称表

表1

編号	名 称 (俗名)	学 名	科 别	習 性	生 長 情 况	繁殖 方法	附 註
第一类：抗旱性較强、多半生在高大沙丘上的植物							
1.	花 棒 (花帽子)	<i>Hedysarum scoparium</i>	豆科	多年生 灌木	多生在沙丘的背風斜坡上，不成密群，分佈很广，数量最多，五月間开花，十月結子成熟，它是固沙最有效的植物之一。	播种或 移植	
2.	沙 蒿	<i>Artemisia sphaerocephala</i> Kraschen	菊科	多年生 草本	高大沙丘中主要植物之一，集合生長，固沙能力强，在固定或流动沙丘上都能生長，生活力强，能耐干旱和瘠薄。	播种	种子可吃

續表 1

編號	名 稱 (俗名)	學 名	科 別	習 性	生 長 情 況	繁殖 方法	附 註
3.	籽 蒿	<i>Artemisia ordosica</i> Kraschen	菊科	多年生 草本	全 上	全上	全上
4.	沙 米 (沙蓬)	<i>Agriophyllum arenarium</i> Bieb	藜科	一年生 草本	分佈很廣，在沙丘的背風坡上 和低窪沙地上都能生長。	全上	
5.	綿 蓬	<i>Corispermum redowskii</i> Frich	全上	全 上	全 上	全上	
6.	臭 蒿	<i>Stilpnolepis centiflora</i>	菊科	全 上	生長在固定沙丘和流動沙丘 上，可作駱駝的飼料，種子很 小，採種也比較困難。	全上	有臭味
7.	沙 芥	<i>Pugionnum cornutum</i> Gaertn	十字 花科	二年生 草本	一般生在高大沙丘中的平坦沙 地上，群生或單生，種籽有雙 翅，中間有刺，因此成熟的種 子落在沙地上，不易被風吹 去。		
8.	沙 竹 (濱草)	<i>Psammodictyon villosa</i> (<i>Timoria mongolica</i> Risch)	禾本科	多年生 草本	具有竹鞭狀的地下莖，能耐干 旱，數量不多。	播種或 移植	
9.	樟 條	<i>Caragana leucophosa</i> , Pojeck	豆科	小灌木	錦雞兒的種類很多，樟條是其 中的一種，抗旱能力強，五月 開花，十月結子成熟。		
10.	白 茨 (泡池刺)	<i>Nitraria Schoberi</i> , L.	蒺藜科	草 本	沙丘中很少，但中衛防沙林站 種的樹苗很多，據說是固沙的 良好植物。		
11.	冬 青	<i>Piptanthus mongolicus</i>		灌 木	冬夏常青，五月中旬開花，七 月下旬種子成熟。		
12.	老 虎 爪 (貓頭刺)	<i>Oxytropis aciphylla</i>		草 本	多生在沙漠中低窪的地方，高 大沙丘中很少，有固定沙丘的 作用。		

第二類：抗旱能力較差，多半生在沙漠邊緣、沿河地区的植物

13.	小苦豆兒	<i>Astragalus elatusium</i> D.C.	豆科	矮小灌木	多長在沙漠邊緣的平坦地區， 數量較少。		
14.	杠 柳	<i>Periploca sepium</i> Bge.	蘿藦科	小灌木	在沙漠前緣發現，能在低窪地 生長，數量較少。	播種或 移植	
15.	沙 葱 (野韭菜)	<i>Allium</i> Sp.	百合科	多年生 草本	僅見於沙漠邊緣和平坦石灘 處，數量較少，葉子綠色，水 份多，有韭菜味。	移植	可食
16.	沙 棗	<i>Eleagnus argusifolia</i>	胡頹子 科	喬 木	在茶房廟內有一株，在過去經 人工移植的，在沙丘中其他地 方從未見到。	播種或 移植	
17.	酸 棗	<i>Zizyphus sativa</i> , Gaertn	鼠李科	灌 木	沿黃河邊的沙漠邊緣上成羣生 長，種子很大，但在高大沙丘 中看不到。	全上	
18.	牛心卜子	<i>Pycnostelma lateriflo-</i> <i>rum</i> , Hem ley	蘿藦科	多年生 草本	僅沙漠前緣有少量的分佈。		
19.	白 草 (狼尾草)	<i>Pennisetum flaccidum</i> Griseb	禾本科	一年生 草本	數量很少，且沒有固沙的作 用。		
20.	馬 蘭	<i>Iris</i> Sp.	鳶尾科	一年生 草本	長在夾石的沙土地上，數量很 多，但沙漠中沒有。		
21.	和 尙 頭	<i>Olgaca leucophylla</i> Iljin	菊科	全 上			
22.	阿爾泰紫菀	<i>Aster altaicus</i> willd		小灌木			
23.	紫 菀	<i>Aster</i> Sp.		(名未 定出)			
24.	莎 草 (羽草)	<i>Stipa</i> Sp.	禾本科	一年生 草本			
25.	頭 草	<i>Echinopsis</i> Sp.	菊科	全 上			
26.	羊 奶 胞 子 (雅葱)	<i>Scorzonera divaricate</i>	全上	全 上			

編號	名稱 (俗名)	學名	科別	習性	生長情況	繁殖方法	附註
27.	白龍串彩	<i>Pauseria lanata</i> , Pers.	唇形科	全上			
28.	列當 (黃格囊)	<i>Orolanche</i> Sp.	列當科	全上			寄生植物
29.	葦	<i>Phragmite communis</i> , Trin	禾本科				
30.	霸王	<i>Zygophyllum xanthoxylum</i>	藜科	矮小灌木			
31.	飛宿	<i>Echinopsis Gmelini</i> , Ledeb	菊科	草本			
32.	鷹爪	<i>Corwaboulus tragopanthide</i> , Turcz.	旋花科	矮小灌木			

沙区内主要植物的分佈情况分述如下:

(1) **固定沙丘地区**: 自团不拉水至水梢子間, 以白茨 (*Nitraria Schoberi*, L.) 和沙蒿 (*Artemisia sphaerocephala* kraschen) (圖—5) 为最多, 还有一些霸王 (*Zygophyllum xanthoxylum*),

但数量不多。从水梢子至通湖塩池間, 在北面多半是半固定沙丘, 其余地带都是草原, 这一带亦以白茨为最多, 並有小苦豆兒 (*Astragalus clausium* D.C.)、馬蘭 (*Iris* Sp.) (圖—6) 和碱蒿等参杂其間。



圖5. 沙蒿



圖6. 馬蘭

(2) **半固定沙丘地区**: 自孟家灣至長流水間, 沿長流水溝的沙区边緣, 以老虎爪为最多 (圖—7), 由長流水向西仍以老虎爪为主, 至上茶房庙附近, 沙蒿和檉条 (*Caragana leucophosa*) (圖—8) 漸漸增多。由上茶房庙向北經過三处灌木叢, 亦以沙蒿和檉条为最多。

(3) **移动沙丘地区**: 在这沙区中絕大部分是移动沙丘, 如茶房庙至孟家灣間、上茶房庙至团不拉水 (除三处灌木叢地外) 以及馬食槽至茶房庙間等处, 这些地带的沙丘是比较高大的, 在沙丘的迎風坡面很少植物, 仅在背風坡面和低窪处 (沙窩子) 長着一些草本和灌木 (圖—9.), 例举如下:

花 棒: (又称花帽子) *Hedysarum scoparium* (圖—10)。

沙 蒿: *Artemisia sphaerocephala* Krachen (圖—5)。

籽 蒿: *Artemisia ordosica* Kraschen.

沙 米: (又称沙蓬) *Agriophyllum arenarium*, Bieb (圖—11)。

綿 蓬: *Corispermum Redowshii*, Frich (圖—12)。

臭 蒿: *Stilpnolepii centiflora*.

沙芥: *Pugionum cornutum*, Gaertn (圖-13)。

沙竹: *Psammochloa villosa* (圖 14)。

樺条: *Caragana leucophosa*, Pojenk (圖 8)。

老虎爪: *Oxytropis aciphylla* (圖-7)。

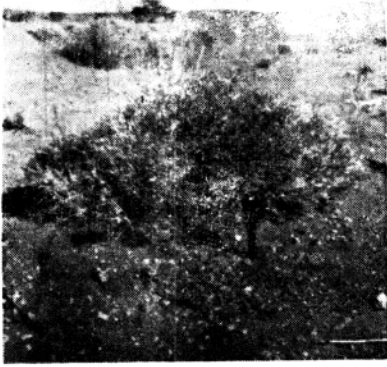


圖7. 老虎爪



圖8. 樺条



圖9. 沙丘背風坡長着一些灌木叢。



圖10. 花棒(花帽子)

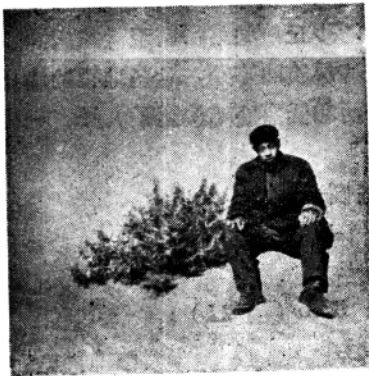


圖11. 沙米(沙蓬)

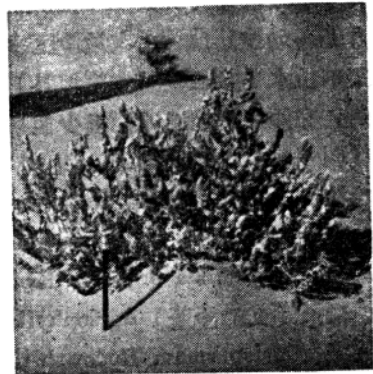


圖12. 縮蓬



圖13. 沙 芥



圖14. 沙 竹

在移动沙丘的背風坡面和低窪处稀疏的生長以上各种植物，虽長得不很密集，但是它們的抗旱力强，如經人工培育和防护，把这些植物繁殖起来，可以起得固沙的作用，这也是今后試驗中的重点工作。

四、沙丘的特征

Ⅰ. 沙丘的形态

铁路路綫沿着沙丘边缘的斜坡通过，就整个地形来说，路綫是在这一沙区的背風面。从沙坡头东面至孟家灣間約長10公里，这一段沙丘的起伏尤为高大，兩端即漸平緩。沙丘的脊綫均作橫的方向，也就是說脊綫与主导風（西北風）的方向接近垂直；迎風坡較緩傾向西北，背風坡則較陡均向东南。由於这一地区受地形的限制和不同的風向，因而形成复杂的沙丘形态。綜合起来，沿路綫一帶的沙丘大致可分为两种基本形态——新月形沙丘和梯級形沙丘。

(1) **新月形沙丘**：这种形态的沙丘多出现在沙坡头以东的第一級河成台地上，这里地势低平，沙量較少，所以容易形成这种沙丘（圖—15）。沙丘的迎風坡一般傾向西北，坡度为 $8^{\circ} \sim 12^{\circ}$ ，背風坡稍陡約为 $28^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。新月形沙丘的發育是逐步演进的：沙地受風吹颳，細小的沙塵在空中飄揚，但大部沙粒多沿着地面或在一定的高度向前推进，風速減低或遇一草一木的障碍即形成沙堆，障碍物高，沙粒落在它的前面，障碍物低，沙粒落在它的背面，繼續颳来的沙子在障碍物前面逐渐堆积和伸長，形成与主导風向一致的長条沙丘。沙丘的中綫較高，向兩側傾斜，繼来的風沙一方面向兩側散开陆續停积，另一方面向前帶动，这样逐渐扩大起来，形成与主导風向垂直的『沙梁』。沙梁的頂部較高，向前移动慢些，沙梁的兩翼較低，向前移动稍快，因而伸出兩只沙角，形成一个新月的形状，故称新月形沙丘。这一帶的沙丘高度不大，一般是3~5公尺。由於沙梁



圖15. 沙坡头东面的新月形沙丘

和沙梁之間的距離相隔不遠，伸出的沙角有時連結起來，破壞了新月形的完整形態。

(2) 梯級形沙丘：這種沙丘在茶房廟東面和西面一帶最為顯著，遠望沙丘好像層層疊疊的梯級，由北向南傾向黃河邊達20級以上，鐵路路綫沿着斜坡通過，所以說整個路綫是在沙區的背風面（參見圖—4.）。這一帶地勢較高，沙丘起伏也大，在這高的沙丘上，風力受阻，携沙力減弱，沙丘脊綫向前推壓也比較慢些。中國科學院地理研究所羅來興同志所寫『陝北榆林靖遠間的風沙問題』一文內提到陝北居民有『大崗走得慢，小崗走得快』的說法，這裡也有同樣的情形。

梯級形沙丘的形態是由於原地面斜坡和前後沙丘毗鄰相接，從新月形沙丘逐漸演變而複合形成的。沙丘向兩側擴張，左右相鄰的沙丘彼此連接，形成一行曲折的沙梁，每一曲弧隱示着過去沙丘的個體；同時因沙丘的兩角向前推進較速，趕上前列沙梁，就形成與沙梁相垂直的『沙埂』。風蝕窪地位於兩埂之間，窪地一般成橢圓形，長着比較多的植物，長度為50~90公尺，也有長到150公尺的，寬度為20~60公尺。沙梁高度為5~15公尺，它的迎風面坡度和背風面坡度與新月形沙丘相似。迎風面的緩坡是凸面的，沙層比較密實，背風面的陡坡是凹面的，沙層松散些。沙埂比沙梁低和窄些，它的迎風坡為 8° ~ 18° ，背風坡為 21° ~ 34° 。按整個地面的沙丘脊綫來看，像是許多方格排列而成的梯級，故稱作梯級形沙丘。

從茶房廟向北約二公里處，海拔1500公尺，這裡是這一段沙區的頂部。沿着這條最高的脊綫還沒有進行勘測。在這條脊綫的南面，沙地逐級傾向河岸，脊綫以北的沙丘形態和南面的稍有不同，因原地面沒有太大的斜坡，所以北面的沙丘是方格形而無梯級形態；這裡的沙丘很高，有的達到50公尺，沙梁的方向同樣是和主導風垂直的，沙梁和沙埂的高度相差不多，它們的長度一般都在50公尺以上，沙梁的迎風坡為 20° ，背風坡在 30° 左右。沙埂之間的方格中部有很深的窪地，由於積沙較厚，看不見風蝕的沙壤土層，植物也更稀少。

總起來說，這一沙區的沙丘形態雖有不同，而沙丘的主要走向是由沙梁（與主導風垂直）組成的，至於沙埂（與主導風向一致的）只有在受風力比較強的地方才有顯著的發育，但是它並不佔優勢。因此我們根據沙丘的形態來看，這一沙區所受的風力不是太強烈的。鐵路路綫經過背風面的低處，受風力的影響較小，這樣定綫也是適當的。

II. 沙 的 性 質

沿鐵路路綫一帶的沙子，擇取沙樣經過機械和化學分析的結果如下：

沙 粒 直 徑：	1.0 ~ 0.5 公厘（粗沙）	0 ~ 7.4 %；
（從地表取樣）	0.5 ~ 0.25 公厘（中沙）	1.4 ~ 4.8 %；
	0.25 ~ 0.05 公厘（細沙）	67.3 ~ 93.9 %；
	0.05 ~ 0.01 公厘（粉沙）	1.5 ~ 2.8 %；
	0.01 公厘以下（粘粒）	1.51 ~ 2.06 %。

單 位 重 量： 1.6 克/立方公厘。

比 重： 2.5。

空 隙 率： 36%。

安 息 角： 30° 。

- 成 份: 石英、長石为主及一部分黑色矿物。
 顏 色: 黃。
 酸 碱 度: PH7.0。
 有 机 物 含 量: 比較标准有机溶液为淺。
 含 硫 量: 根据定性分析, 含硫量很少。
 含 水 率: 沙丘頂部为 1% 以下, 沙丘坡脚及低窪处为 2.3~4.7%。

根据沙粒机械分析的结果, 沙粒直径在 0.25~0.05 公厘的細沙一般在 90% 以上, 这种沙子容易被风吹颯, 使沙丘陷于活动的状态, 同时沙子的傳热性强, 暑天沙子温度有时达到 55°C 以上, 沙子的滲水性很强, 持水量大为减少, 有机物的含量極少, 当地蒸發量又高, 这些情况对于培育固沙植物都是不利的, 进行植物固沙的工作确有一定的困难。但是我們看見沙丘的背風坡和低窪的地方長着一些灌木和草叢, 这些植物的抗旱性是很强的, 並且这一帶的降水量还不算过分缺少, 所以在这沙区栽种植物虽有一定的困难也还是有可能的。今后只有在沙地培育了植物, 才能徹底防止沙丘的移动。

在 1955 年調查中, 我們沿途采取了十处的沙样, 进行了顆粒分析 (表 2)。

从这十处沙样的顆粒粗細来看 (参看圖一.), 在通湖山旁的兩股流沙因不受山勢阻擋, 風力是比較强烈的, 所以在这地区以粗沙 (0.5 公厘以上) 成分为多, 但是在这延伸沙区的南緣 (靠黄河) 及北緣 (通湖山南) 一帶, 因風力受地势的影响, 遇到阻擋后而風速減低, 較粗沙粒不易携帶, 所以在这沙区的南緣其沙粒以細沙 (0.25~0.1) 为主要成分。

沙坡头地区沙子的顆粒分析

表 2

編 号	取 沙 样 地 点	顆 粒 分 析 (%) (沙粒直径, 公厘)			
		0.5 以上	0.5~0.25	0.25~0.1	0.1 以下
1	孟 家 灣	16.7	11.6	<u>49.3</u>	22.3
2	上 茶 房 廟	0.3	32.2	<u>65.6</u>	1.6
3	团 不 拉 水 南	<u>55.8</u>	8.6	13.6	21.6
4	通 湖 林 場 附 近	0.1	5.4	<u>74.0</u>	20.4
5	通 湖 林 場 与 塩 池 間	0	1.5	<u>76.0</u>	22.4
6	塩 池	<u>64.4</u>	11.4	17.4	6.7
7	馬 食 槽	<u>80.4</u>	8.4	8.1	3.0
8	馬 食 槽 以 南	0	10.4	<u>81.2</u>	8.1
9	黄 河 南 岸 河 边	0.1	0.3	44.0	<u>55.5</u>
10	黄 河 南 岸 山 坡	0	0.3	<u>87.9</u>	11.7

III. 沙丘的發展和移动的情况

(1) 沙子發展和移动的規律: 流沙在發展过程中的第一个形状是『波紋』, 波紋的走向和主風風向总是垂直的, 这里的風向主要是西北風和东南風, 所以沙的波紋总是东

北、西南走向(圖一16); 波紋高約1~2公分, 相距很近, 表層沙粒隨着風向將粗細顆粒分佈在波紋的兩面, 細粒在正面, 粗粒在背面。

在平坦的沙地上可以看得比較清楚, 波紋上的細沙粒被風吹走後, 將沙地表面割成許多橫溝, 在波紋的背面發生旋渦, 因而波紋逐漸發展成為『沙浪』。沙浪的高度可達 20~25 公分, 它的底部寬度在 2 公尺以內, 當大風吹過沙浪時, 在沙浪的背面引起旋渦, 這時候沙浪背面的壓力比正面的大些, 因而產生風沙的倒流現象, 使沙浪的正面和背面交為一條清晰的劃分線, 這種地形稱作『脊狀沙丘』。脊狀沙丘高達50公分以上, 如遇到大風時, 它的背面就會發生勁強的旋風, 造成新月形沙丘。因此沙漠中風蝕地形的發展情況, 可用下列順序來表示:

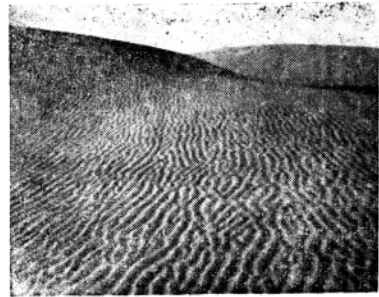


圖16. 沙丘上的波紋

波紋 (рябь) → 沙浪 (Песчаный волна) → 脊狀沙丘 (Гребень) → 新月形沙丘 (Бархан)。

前面已經提到, 在現場看到『大崗走得慢, 小崗走得快』的現象, 根據 A. C. 茲那綿斯基所寫『鹽漬土和流動沙地上的築路工程』一文, 同樣說明新月形沙丘高度和直進移動速度具有一定的關係 (表 3):

表 3

沙 丘 高 度 H (以公尺計)	沙 丘 移 動 距 離 S (以公尺計)	H × S
1.7	5.7	9.7
1.1	9.0	9.9
0.9	10.9	9.8

附註: 沙丘高度計自沙丘背風坡腳至沙丘脊頂。

从上表可知, 沙丘移動距離和沙丘高度成為反比例, 且 $H \times S$ 的乘積是一常數。

作者在文中指出: 在沙丘中由於局部氣流所產生的旋渦情況, 正如我們在現場看到的一樣, 大風颳過沙丘時, 氣流的最大速度是在沙丘頂端, 最小速度則在背風坡腳; 高處風速大而靜壓力小, 低處風速小則靜壓力大, 由於壓力大小不同, 引起了局部氣流, 所以形成氣流旋轉的風沙旋渦。根據別爾努里定律, 也能得到同樣的解釋:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + P_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + P_2 = C。$$

- 式中 ρ —— 氣流的密度。
 v —— 氣流的速度。
 P —— 靜壓力。
 C —— 常 數。

作者同時指出: 發生在沙丘上的局部氣流不僅是由背風坡腳走向丘頂, 凡是有不同壓力的地方都會產生這種局部氣流。沙丘頂部如有懸殊的高低差就會產生不同的壓力, 因此

常常發現和風向垂直的气流。从沙丘上的波紋方向也可以看出这种气流的移动，尤其在沙丘高度相差很大的地方，这种波紋更为显著。在高大和密集的沙丘地带，看見从迎風坡面上吹来的細沙粒並不一直向前飞躍，而受到兩翼吹来的局部气流的影响之后，沙粒折向左、右吹去，居民所称『順崗風』就是这种现象。

大風时在現場观察，看見沿着沙丘迎風坡面颳过来的沙粒，剛出丘頂，似若冒煙，但因風力扩散，携帶力減弱，故大部沙粒落在背風坡面的上部，当繼續推进和堆积起来超过安息角时，沙粒就会滑瀉下来，坡度減至安息角以下，滑瀉作用即行停止；等到繼来的沙粒再向背風坡面上方堆压，滑瀉又复重行开始，因此我們看到交斜沙層的層理，一律向东南方向作 30° 的傾斜（圖—17），和沙的安息角度是相符的。

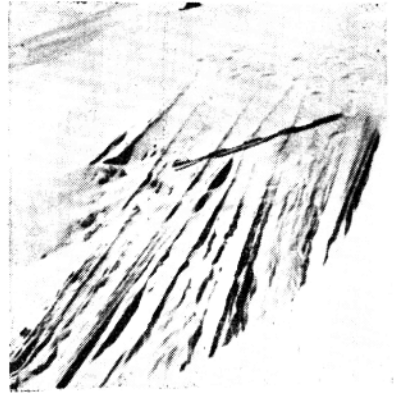


圖17. 交斜沙層的層理

(2) 關於沙丘移动的測定工作：从1954年开始，在沙坡头，茶房庙和孟家灣三处各設立了一些木樁，用来測定沙丘的移动。在沙坡头的沙丘頂部所設木樁 A_{10} ，自6月20日起經過5天，沙丘脊線向西北移动 0.95 公尺，再經29天累計移动 2.7 公尺，以后15天沒有变动，又經16天至9月15日颳了一次西北風，把脊線吹移回去，並超过原处向东南移 0.5 公尺；孟家灣所設木樁 E_2 在7月至8月間沙脊線向东南移动 6 公尺，8、9兩月折回原处，至12月間又向东南移动 10 公尺；根据短期的观测，仅在沙丘頂部随着不同的風向来回移动，但沙丘底部沒有多大变化，同时根据中衛县志的記載和老乡們的談話，这一帶沙丘的移动並不太大。鐵路路基在設立防沙设备之后，流沙的威胁是可以克服的。

五、鐵路防沙的試驗

在沙漠地区修筑鐵路之前，必須經過各种观测和試驗，才能對於路基設計、施工和养护各項工作提出比較正确的方案。我們接受了苏联專家的建議，自1954年开始进行了气象观测和植物試种，並於1955年5月間完成了在茶房庙东面修筑的一段 450 公尺長的試驗路基。茲將上述各項观测和試驗工作的情况分述如下：

I. 茶房庙气象观测（根据1954年报告）

(1) 气温：全年最高温度（8月15日）是 33°C ，当日最低温度是 10°C ；全年最低温度（12月28日）是 -27.5°C ，当日最高温度是 2°C ；由此得出最高年温差是 60.5°C ，最高日温差是 29.5°C 。全年平均温度是 6.6°C 。冻结日数全年有152天，这些是茶房庙一帶的气温情况。进入腾格里沙漠内部，气温变化必然更为严重。

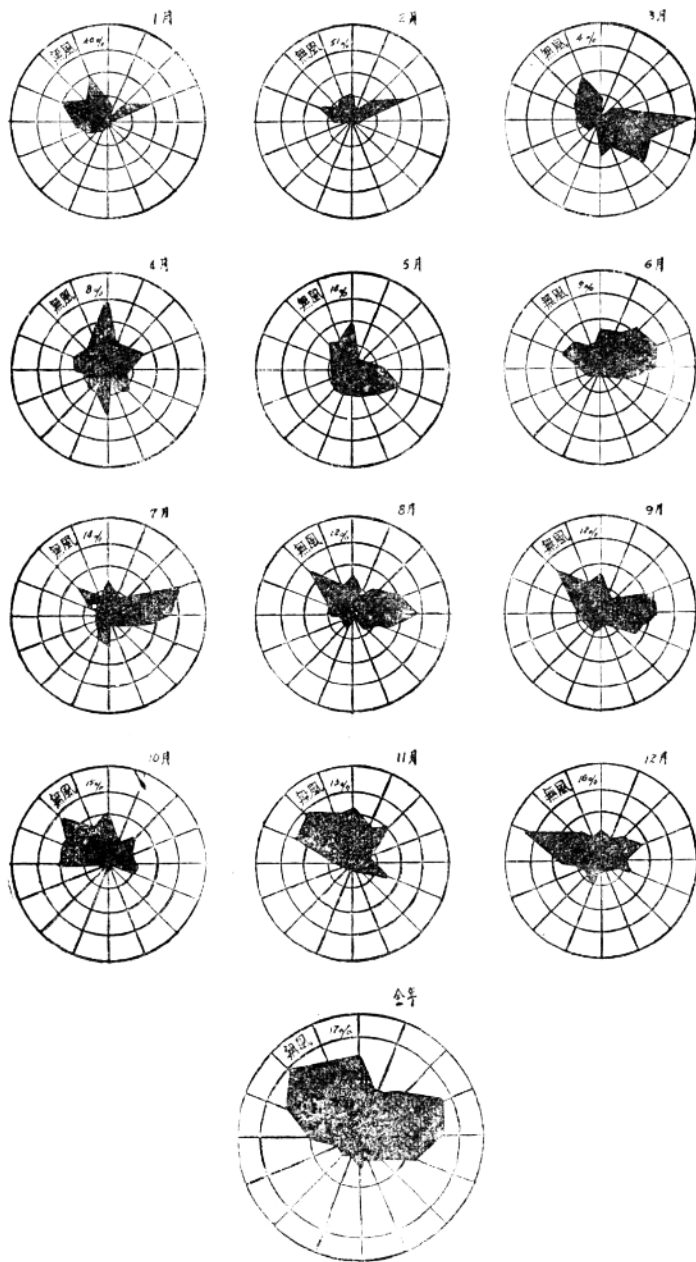
(2) 降水量和蒸發量：1954年降水总量为177.8公厘，年蒸發总量高达3031.6公厘，降雨量集中在5、6、7、8四个月共降雨111.9公厘，佔全年降水量63%。根据1955年上半年度的报告1~3月未曾降雨，4~6月降雨量仅20.1公厘，在这半年中蒸發量高至1687公

茶房庙地区气候统计表

表4

项 目	1 9 5 4 年												1 9 5 5 年					
	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	一月	二月	三月	四月	五月	六月
	气温 (°C)	9.0	13.0	22.0	24.0	24.5	30.5	32.5	33.0	26.5	17.0	12.0	3.0	6.0	10.0	21.0	28.5	31.0
平 均	-8.1	-3.9	1.6	9.6	13.5	18.9	21.7	18.4	15.0	6.4	-0.5	-13.4	-12.2	-4.8	2.1	8.5	15.2	19.8
最 低	-32.0	-21.0	-15.0	-3.5	0.5	8.0	10.5	10.0	3.0	-3.0	-17.5	-27.5	-25.0	-18.5	-12.0	-7.0	2.0	7.0
降水量 (公厘)	14.8	14.0	6.6	8.1	22.7	25.6	10.2	53.4	1.3	19	0	3.1	0	0	0	1.7	8.7	9.7
蒸 发 量 (公厘)	35.1	46.5	195.5	343.1	452.5	440.3	503.7	336.6	304.5	208.7	131.0	39.1	67.3	134.5	139.2	332.7	404.9	528.4
平 均	76	72	60	49	47	47	48	65	48	38	42	62	46	30	39	36	34	39
最 低	47	30	22	23	27	11	25	22	11	4	9	19	10	0	0	2	4	12
气 压 (公厘)	672.5	666.4	660.2	645.7	641.6	633.7	629.6	635.2	642.4	655.0	658.3	664.3	665.1	656.7	653.1	648.9	642.5	635.9

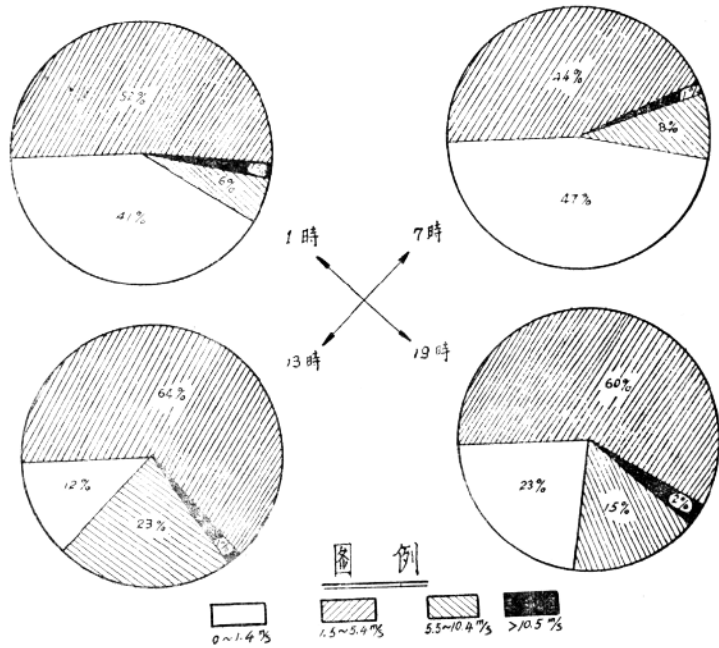
圖-13 茶亭湖各月及全年風向頻度圖 (1954年紀錄)



厘，由此可見這一地區的雨量很少，氣候又非常乾燥，也就是造成沙粒移動和缺少植物的主要原因。

(3) 風向與風速：全年風向頻度以東南東和西北為最多，風速則以西北風佔優勢，全年北、西北北、西北及西北西等風向佔七級以上大風次數的53%，其中西北風佔20%，因此沙粒移動主要是向東南方向（圖一18，圖一19）。

圖-18 茶房廟地區風速百分比圖 (1954年記錄)



II. 試驗路基的設計

修建試驗路基的目的，是採用不同的路基形式和不同的防沙辦法，在筑成一段路基之後進行長期的觀察和比較，從而吸取經驗，提出沙漠路基設計、施工及養護的方案。1955年2月在茶房廟東600公尺處修建了一段試驗路基，於5月間全部完成（圖一20）；自百尺標OK 2915+00至OK 2919+50，共長450公尺，其中有350公尺長的平台，平台中做了三段不同形式的路基：（1）不填不挖，（2）0~3公尺高的路堤，（3）0~3公尺深的路塹；另在路基兩端各留出50公尺不設平台，即按一般的路基形式做成路堤和路塹，作為有無平台的比較。平台和路基面的縱向坡度規定不超過12%，而原地面的自然縱向坡度大約是100%，在這種情況下，勢必將平台和路基做成反向坡度，才能在450公尺的長度內出現高度不同的填挖。原地面的自然橫向坡度大約是100~200%，要做成寬敞的平台，必須採用半填半挖的橫斷面，才能節省經費。在沙漠上修建鐵路，因沙子的滲水性强，不需要修築橋涵和排水溝，也可以省却一部分工程費用，因而我們採取了以下各種設計：（圖一21、22、23、24）。



圖20. 試驗路基