

碱-集料反应的分类

唐明述

(南京化工学院)

[摘要] 目前碱-集料反应分成三类,即碱-硅酸反应,碱-硅酸盐反应和碱-碳酸盐反应。分类不仅具有学科意义,同时与寻找鉴定集料的新方法和防止措施均密切相关。本文综述了分类形成的历史过程,各类反应的主要特征、反应机理及其相应的鉴定方法和抑制措施。根据近年来的研究结果,文中提出,碱虽然会与某些页硅酸盐反应,但未证实会导至膨胀。因而认为没有必要分出单独一类碱-硅酸盐反应,而建议分成碱-硅酸反应和碱-碳酸盐反应两类。

碱-集料反应是影响混凝土工程的重要因素。半个世纪以来,众多大坝、桥梁、公路、港口以及工业和民用建筑均曾因这种反应而破坏,而修补和重建耗资巨大,因此引起了世界各国极大的关注,迄今已有研究论文两千余篇。本文仅就分类提出新的方法。

1940年,Stanton^[1]发现碱与集料反应会导至混凝土膨胀开裂,并称之为碱-集料反应(alkali-aggregate reaction)。自那以后的一段很长时间内,所谓活性集料是指含有微晶质、隐晶质、玻璃质和遭受应变的石英,以及方石英、鳞石英、玉髓和蛋白石等岩石。直到1957年,Swenson^[2]发现碱-碳酸盐反应和1973年Gillott^[3]等发现碱-硅酸盐反应之后,碱-集料反应被分成三大类,即碱-硅酸反应(alkali-silica reaction)、碱-硅酸盐反应(alkali-silicate reaction)和碱-碳酸盐反应(alkali-carbonate reaction)。但Oberhoster^[4]将碱-硅酸盐反应称之为碱-硅质岩石反应(alkali-siliceous rock reaction)。最近加拿大^[5]的标准(CAN3-A23.1, Appendix B2, 3)中称之为慢/迟膨胀的碱-硅酸盐/硅酸反应(slow/late expanding alkali-silicate/silica reaction)。由此看来,目前对碱-集料反应的分类意见还有分歧,各类的名词也不尽一致,甚至有些混淆。而分类对一个学科或研究领域有“纲”、“目”的作用,正确的分类对确定研究方向,指导实践活动和制定国家标准均有重要意义,有必要予以探讨。

1. 碱-硅酸反应

这一类反应研究最多,对这一类反应的分类,大家意见基本一致,故本文将不予赘述。

2. 碱-硅酸盐反应

Gillott^[3]自1965年起对加拿大新斯科舍的碱-集料反应进行了长期系统的研究。在1973年发表的研究结果中,所涉及的岩石有硬砂岩(greywacke)、泥板岩(argillite)、千枚岩(phyllite)、片岩(shist)和流纹岩(rhyllite)。研究发现,这种碱-集料反应的主要特征与传统的显著差异是:(1)膨胀发生缓慢,而且用美国标准(ASTM C 227)测长法测不出集料的碱活性,但增高温度和碱含量可以测出碱性膨胀;(2)在破坏的混凝土中不易发现常见的碱-硅凝胶;(3)根据传统的碱-硅酸反应机理,很难解释试验结果。通过岩相分析和电子显微镜观察,证实这些岩石中含有蛭石或类似蛭石的层状结构矿物。扫描电镜观察

国家自然科学基金资助项目

证实,有些页硅酸盐(phyllosilicate)用NaOH溶液处理之后出现页状剥落(exfoliate)。X-射线表明,蛭石类矿物经碱处理之后,层间距由 10\AA 增至 12.6\AA 。基于上述结果得出的结论是:“在新斯科舍的碱性膨胀岩石中,蛭石类矿物基面间的沉积物是可提取的,当沉积物被NaOH抽出后,矿物膨胀,从而导至岩石体积增加。所含少量蒙脱石也是膨胀因素。

1978年, Oberholster等^[6]详细研究了南非Cape Peninsula的混凝土建筑因碱-集料反应而引起的破坏。其所用集料为Malmesbury组的硬砂岩、泥板岩、长石石英岩、千枚岩和角页岩。硬砂岩和石英岩主要由砂粒尺寸的石英、长石碎屑岩、棕色树枝状白云母以及半透明的基质所组成。基质的主要成分是蛭石、绿泥石、石英、长石以及少量绢云母构成。这与加拿大新斯科舍的粗集料极其相似。同时也证明,在 $37.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时用高碱水泥可测出集料的碱性活性膨胀。他们也认为是碱-集料反应造成混凝土建筑物破坏,并认为当K-蛭石与Ca, Mg交换时,基面间距由 $\pm 10\text{\AA}$ 变至 14\AA ,也可能导至膨胀。

1990年, Rogers^[5]将碱-硅酸盐反应称之为延迟性/缓慢性碱-硅酸/硅酸盐反应。认为参与这类反应的,包括含应变石英的砂岩和花岗岩以及变质沉积岩,如千枚岩、泥板岩和硬砂岩,并认为是页硅酸盐的剥落导至膨胀。这类岩石用传统的碱-集料反应测不出碱性膨胀。高碱混凝土柱在 $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 养护是最有效的方法。岩石圆柱体或小岩石柱膨胀试验也是有效的。意即此类反应与传统的碱-硅酸反应在膨胀机理和鉴定方法上都是不同的。

但是对碱-硅酸盐反应这一分类似乎还有争论和矛盾。1983年, Oberholster^[4]在叙述碱-集料反应的分类时,称之为碱-硅质岩反应(alkali-siliceous rock reaction)。认为此类反应的岩石包括燧石、千枚岩、角页岩、硬砂岩、花岗岩、花岗片麻岩、花岗闪长岩、片麻岩、紫苏花岗岩和片岩;活性组分是玉髓、隐晶质石英和应变石英。此反应比碱-硅酸反应慢。值得注意的是,这里没有提到是页硅酸盐剥落引起膨胀,本质上应为碱-硅酸反应。1976年, Diamond^[7]在评述Gillott关于碱-硅酸盐反应的机理时曾谈到:“我倾向于认为此建议是一个靠不住的假说,至少没有可信的依据。”1978年, Grattan-Bellew^[8]在研究石英岩、泥板岩和石英砂粗碎屑岩时,发现膨胀与集料的孔隙率及微晶组分(基质)的含量有关,没有提到页硅酸盐剥落引起膨胀,虽然泥板岩中含有页硅酸盐。

在其后的研究中, Gillott对碱-硅酸盐反应引起膨胀的本质认识上略有不同。1986年^[9],在叙述硬砂岩、千枚岩和泥板岩的碱性膨胀时写到:“无疑,应变石英,特别是细粒石英,将与强碱反应,这肯定将导致膨胀反应。并曾证明,层状结构的硅酸盐和岩石中类似矿物将被碱侵蚀,认为此反应与膨胀机理有关”。这里Gillott已把膨胀归结为碱-硅酸反应和页硅酸盐的剥落的双重作用。

考虑到页硅酸盐矿物可能会引起碱性膨胀,在最近(1988年)的日本标准中^[10],已将微细白云母、绢云母、伊里石、微细黑云母及蛭石等矿物列为与碱-集料反应有关的矿物。

为了验证硅酸盐矿物是否会引起碱性膨胀,以及何种硅酸盐矿物会引起碱性膨胀,我们取了上百种的硅酸盐矿物,包括岛状结构、链状结构、网状结构和层状结构(页硅酸盐)的硅酸盐矿物,进行碱性活性鉴定^[11],其中23个矿物的膨胀试验示于表1中。试验是采用我们提出的快速法^[12],在碱溶液中压蒸处理之后,一部分试体磨成光薄片,在光学显微镜下观察反应程度。按照我们过去的研究证明,当在 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下压蒸处理6小时,膨胀值大于0.1%

表1 硅酸盐矿物作集料的砂浆试体在150℃, 200℃压蒸6小时的膨胀率

序号	类别	矿物名称	膨胀率(%) 150℃, 6小时	反应程度	膨胀率(%) 200℃, 6小时	反应程度
1	岛状硅酸盐	橄榄石	0.040	A	0.059	A
2		红柱石	0.043	A	0.071	A
3		兰晶石	0.048	A	0.094	A
4	链状硅酸盐	辉石	0.065		0.063	A
5		阳起石	0.062		0.060	A
6		角闪石	0.045		0.048	A
7	架状硅酸盐	正长石	0.026	D	0.042	B
8		钠长石	0.031	D	0.032	B
9		微斜(钾)长石	0.015		0.032	
10		霞石	0.031		0.032	
11		白榴石	0.043		0.046	
12	层状硅酸盐	叶蜡石	0.054		0.051	
13		蛇纹石	0.051		0.067	
14		伊利石	0.042		0.055	
15		海绿石	0.104		0.166	
16		绿泥石	0.032	C	0.040	A
17		滑石	0.039		0.059	
18		白云母	0.027	D	0.029	D
19		黑云母	0.035	D	0.046	D
20		铁锂云母	0.037	D	0.049	D
21		高岭石	0.035	C	0.048	C
22		微晶高岭石	0.069	C	0.079	C
23	蛭石	0.021	D	0.024	D	

注：A，完全反应；B，部分反应；C，轻微反应；D，不反应。

者为碱活性集料^[12]。从表中可以看出，仅一个海绿石样品膨胀率达0.104%，其他所有硅酸盐矿物膨胀率均不大，蛭石膨胀率仅0.021%。但岩相观察证明，此海绿石中含有微晶石英和玉髓，膨胀亦为碱-硅酸反应引起。试样的岩相检验证明，众多硅酸盐矿物均已发生反应，但膨胀并不大，如表中16号的绿泥石。特别是在200℃压蒸之后，众多的硅酸盐矿物均已被碱侵蚀，但未发生显著碱性膨胀。我们还曾用钢玉为集料，使试体在300℃下在碱溶液中压蒸，发现钢玉完全被侵蚀，但试体并未膨胀。被碱侵蚀而不膨胀可能是由于生成产物吸水性能不强。过去，在我们研究玻璃的组成与膨胀的关系中^[13]，发现CaO和Al₂O₃含量高，SiO₂和Na₂O含量降低，则吸水性能以及相应的膨胀率降低。因此象兰晶石(Al₂O₃·2SiO₂)与蛭石[(Mg, Fe, Al)₃(Al, Si)₄O₁₀(OH)₂·4H₂O]等矿物中SiO₂含量不够高，相反含大量Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃等，因此与碱反应之后就不可能吸水膨胀。

此外还研究了数十种岩石，发现其膨胀与否决定于其中的微晶石英和玉髓的含量。如贵州、北京、辽宁等地的千枚岩，虽均含有页硅酸盐，但只有含活性二氧化硅者才膨胀。这再

次证明页硅酸盐不引起膨胀。

据此,可得出这样的结论,碱-硅酸盐反应实质上是碱-硅酸反应,而膨胀的快慢决定于石英的晶体尺寸、晶体缺陷以及微晶石英在岩石中的分布状态。当细晶石英分散分布于其他矿物之中,则 Na^+ , K^+ , OH^- 必须通过更长的通道和受到更大的阻力才能到达活性颗粒表面,从而使反应延迟。Gillott^[14] 就曾谈到,致密的、互相紧接的微晶结构使得碱-集料反应特别缓慢。由此可知,不含页硅酸盐矿物的岩石也可以是慢膨胀的。最近 Criaud^[15] 证明我们提出的压蒸快速法既可适用于碱-硅酸反应,也适用于碱-硅酸盐反应。Grattan-Bellew^[16] 证实, Oberholster 的快速法也适用于鉴定碱-硅酸盐反应的岩石。这间接证明二者的反应机理在本质上是相同的。为此建议取消碱-硅酸盐反应这一名词。但是 Gillott 所反复证实的页硅酸盐将被侵蚀这一事实,值得进一步研究其与碱-集料反应的关系以及对混凝土其他行为的影响。

3. 碱-碳酸盐反应

Swenson^[11] 首次发现加拿大安大略省金斯敦附近的混凝土建筑物的破坏是由于碱-碳酸盐反应引起的。实验室研究证明,这种碱-集料反应无法用 ASTM C227 的砂浆棒法来检测其膨胀。Swenson 和 Gillott^[17] 建议采用混凝土柱的方法来检测其碱活性。他们和 Hadley^[18] 均发现这种活性碳酸盐集料在高碱溶液中会很快产生膨胀,为此发展而成 ASTM C586 岩石圆柱体法,以鉴定碳酸盐类岩石的碱活性。

通过 Swensen, Gillott 和 Hadley 等的系统详细的微观结构研究,证实活性碳酸盐岩均系粘土质白云石质石灰岩。其岩相结构特点是菱形的白云石晶体(小于 $70\ \mu\text{m}$)镶嵌在极细的方解石晶体($3-5\ \mu\text{m}$)和粘土构成的基质之中,酸不溶物含量一般在 $5-20\%$ 之间,其中粘土矿物主要为伊里石,在碳酸盐岩中白云石含量约为 $40-60\%$ 。这种破坏事例,除加拿大外,在美国的弗吉尼亚、纽约、印第安纳、伊利诺斯、威斯康星、衣阿华、密苏里、南达科他以及中东某些地区均有发现。

关于碱-碳酸盐反应的膨胀机理, Gillott^[19] 根据体积变化、吸水和小池试验(Cell test)得出:(1)碱腐蚀白云石晶体,使具有干燥表面处于“活性”状态被暴露的粘土释放出来;(2)某些处于置换位置的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子被 Na^+ 离子置换;(3)由定向排列的水分子构成水化双电层,阳离子处于新暴露的粘土表面,阴离子远离粘土表面;(4)双电层的发展以及相伴随的水化过程导致吸水,从而引起膨胀。Gillott 认为,由于在去白云石化反应中



固相产物体积之和小于固相反应物的体积,因此此反应本身不可能导致膨胀。其结论是去白云石化反应打开通道,而粘土吸水是膨胀的本质原因。

根据 Hadley^[18] 的研究证明,白云石单晶在碱溶液中处理 100 天,膨胀值达 0.15% 。同时证明,包围白云石晶体的粘土基质可起半渗透膜的作用,从而产生渗透压力。粘土和方解石微晶构成的基质也是岩石的薄弱环节,使其在此易于断裂。

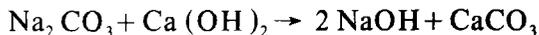
我们借助扫描透射电子显微镜详细研究了加拿大 Kinston 活性碳酸盐的显微结构。这种活性碳酸盐岩经碱处理之后,再用离子减薄,观察到菱形白云石晶体表面上生成定向排列的水镁石,而在白云石晶体原表面层中则生成方解石^[20]。这证明,在去白云石化过程中,

Mg^{2+} 离子扩散出来在晶体表面生成水镁石。基于以上试验结果,我们提出,膨胀是由于局部化学反应和结晶压引起的。因从大家熟知的活性碳酸盐岩的微观结构看来,菱形白云石微晶是紧密包裹在粘土和方解石所形成的基质之中, K^+ , Na^+ , OH^- 离子及水分子要进入此受限空间起反应,这本身就会引起膨胀。尽管在去白云石化反应中反应产物的固相体积小于反应物的固相体积,似乎不会引起膨胀,但若加上上述离子进入受限空间,则反应之后总体积将远远大于原反应物(白云石)之体积。此外,由于新生成的水镁石和方解石的晶体重排和生长也将产生结晶压。在研究加拿大康沃尔发生过碱-碳酸盐反应的混凝土的集料时,还发现^[21]有裂缝通过白云石晶体表面,但未发现白云石晶体破坏。由此我们提出一个膨胀模型,即 K^+ , Na^+ , OH^- 离子和 H_2O 以粘土基质为通道,挤入微晶白云石所处的受限空间内产生反应,膨胀是由于局部化学反应和结晶压所引起。热力学计算表明,去白云石化反应的自由能 ΔG_{298}° 为负,即 -12.19 kJ ,此即离子进入受限空间的化学推动力。

去白云石化反应也可写为



由此反应可以看出,随着 OH^- 离子浓度的增加和 CO_3^{2-} 离子浓度的降低,将使去白云石化反应加剧。我们用不同pH值的缓冲溶液研究去白云石化反应的程度,证实了上述结论,并由此讨论了 $Ca(OH)_2$ 的作用和从理论上指出避免碱-碳酸盐反应的方向。Hadley 早已指出, $Ca(OH)_2$ 可以使碱再生,使碱-碳酸盐反应得以继续,即



在这里我们将着重指出的是, $Ca(OH)_2$ 除了使碱再生而外,还降低了 CO_3^{2-} 的浓度,这将使去白云石化反应的推动力大大加强。因此与 $Ca(OH)_2$ 在碱-硅酸反应中的重要作用一样, $Ca(OH)_2$ 的存在将大大促进碱-碳酸盐反应。

众多试验结果表明,与碱-硅酸反应不同,采用低碱水泥或掺混合材料并不能有效抑制碱-碳酸盐反应。从pH值与去白云石化反应的关系,我们推测,为防止碱-碳酸盐反应所要求的pH要比防止碱-硅酸反应要求的pH值小得多,为此建议采用低碱水泥(例如小于0.4%)再加高掺量的粉煤灰(例如40—60%)以防止碱-碳酸盐反应。当然这还需长期试验来证实,并需进一步探讨在生产中使用的可能性。

4. 结 论

建议将碱-集料反应分成两类,即碱-硅酸反应和碱-碳酸盐反应,似无必要单独分出碱-硅酸盐反应一类。在建立鉴定集料碱活性的方法时,可将碱-硅酸盐反应分成快膨胀的和慢膨胀的。但对层状结构硅酸盐被碱侵蚀后将产生剥落,其影响和作用有待进一步深入研究。

后记 著者关于分类的观点,曾先后征求过丹麦 Idorn 博士(第六届国际碱-集料反应会议主席)、加拿大 Grattan-Bellew 博士(七届主席)、英国 Poole 博士(九届主席)以及澳大利亚 Shayan 博士,日本片山哲哉研究员的意见,他们都表赞同。但分类极其重要,国内外均尚有不同意见,著者恳请批评指正。

参 考 文 献

- [1] D.E. Stanton, "Expansion of Concrete Through Reaction Between Cement and Aggregate", *Proc. Amer. Soc. Civil Engns*, **66** (1940) 1781.
- [2] E.G. Swenson, "A Canadian Reactive Aggregate Undetected by ASTM Tests", *Am. Soc. Testing Materials, Bull.*, **226** (1957) 48 — 50.
- [3] J. E. Gillott, M.A.G. Duncan and E.G. Swenson, "Alkali-Aggregate Reaction in Nova Scotia, IV, Character of Reaction", *Cem. Concr. Res.*, **3** (4)(1973) 521 — 535.
- [4] P. Barnes, *Structure and Performance of Cements*, Applied Science Publishers London and New York, (1983) 374.
- [5] C.A. Rogers, "Alkali-Aggregate Reactivity in Canada", Canadian Developments in Testing Concrete Aggregates for Alkali-Aggregate Reactivity, Proc. of a workshop held on March 19, 1990 at the ACI Convention, Toronto, Published by: Ministry Transportation, Ontario, Engineering Materials Report 92, March (1990) p.2.
- [6] R.E. Oberholster, M.P. Brandt and A.C. Weston, "Cement-Aggregate Reaction and the Deterioration of Concrete Structure in the Cape Peninsula", *Die Siviele Ingenieur in Suid-Africa*, Julie (1978) 161 — 166.
- [7] S. Diamond, "A Review of Alkali-Silica Reaction and Expansion Mechanisms, 2. Reactive Aggregate", *Cem. Concr. Res.*, **6** (4)(1976) 549 — 560.
- [8] P.E. Grattan-Bellew, "Study of Expansivity of a Suite of Quartzwacks, Argillites and Quartz Arenites", Proc. of the Fourth International Conference on the Effect of Alkalies in Cement and Concrete, Purdue University, June 5 — 7 (1978) 113 — 140.
- [9] J.E. Gillott, "Alkali Reactivity Problems with Emphasis on Canadian Aggregates", *Engineering Geology*, **23** (1986) 29 — 43.
- [10] JIC Committee on Durability of Concrete Structures, Proposed JIC Standard, "Method for Durability Diagnosis of Concrete Structures (3)", *Concrete Journal*, **26** (7)(1988) 125 — 138 (in Japanese).
- [11] Tang Mingshu, Wan Jiandon and Han Sufen, "Studies of Alkali-Aggregate Reaction From Petrography and Mineralogy", *Il Cemento*, **88** (2)(1991) 98 — 104.
- [12] Tang Mingshu, Han Sufen and Zhen Shihua, "A Rapid Method for Identification of Alkali Reactivity of Aggregate", *Cem. Concr. Res.* **13** (3)(1983) 417 — 422.
- [13] Tang Mingshu, Xu Zhongzi and Han Sufen, "Alkali Reactivity of Glass Aggregate", *Durability of Building Materials*, **4** (1987) 377 — 385.
- [14] J.E. Gillott and E.G. Swenson, "Some Unusual Alkali-Expansive Aggregates" *Engineering Geology*, **7** (1973) 181 — 195.
- [15] A. Criaud, "Evaluation de la Reactivite Potentielle des Granulates: Essai Accelere Microbar", le 28 amout (1990)(unpublished).
- [16] P.E. Grattan-Bellew, "Canadian Experience with the Mortar Bar Accelerated Test for Alkali-Aggregate Reactivity", Canadian Developments in Testing Concrete Aggregates for Alkali-Aggregate Reactivity, Proc. of a Workshop held on March 19, 1990 at the ACI Convention, Toronto, Published by: Ministry of Transportation, Ontario, Engineering Materials Report 92, March (1990).
- [17] E.G. Swenson and J.E. Gillott, "Characteristics of Kinston Carbonate Rock Reaction", *HRB Bull.* **275** (1990) 18 — 31.
- [18] D.W. Hadley, "Alkali Reactivity of Carbonate Rocks Expansion and Dedolomitization", *HRB Proc.*, **40** (1961) 462 — 474.
- [19] J.E. Gillott, "Mechanism and Kinetics of Expansion in the Alkali-Carbonate Reaction", *Canadian Journal of Earth Sciences*, **1** (2) (1964) 121 — 145.

- [20] Tang Mingshu, Liu Zheng and Han Sufen, "Mechanism of Alkali-Carbonate Reaction", Proc. of 7th International Congress of Alkali-Aggregate Reaction, Noyes Publications, Ottawa, Canada, Aug. 18 - 22 (1986) 275 - 279.
- [21] Tang Mingshu, Lu Yinong, Liu Zheng and Han Sufen, "Alkali-Carbonate Reaction and pH Value", // *Cemento*, **88** (3) (1991) 141 - 150.

CLASSIFICATION OF ALKALI-AGGREGATE REACTION

Tang Mingshu

(Nanjing Institute of Chemical Technology)

Abstract

Up to now alkali-aggregate reactions have been divided into three types: alkali-silica reaction, alkali-silicate reaction and alkali-carbonate reaction. The classification is not only scientific importance, but of significance also for determining the method of identifying alkali reactivity of aggregate and for searching for preventive measures. The history of the classification of alkali-aggregate reactions, the major characteristics, the expansion mechanisms, test methods and preventive measures are comprehensively analyzed in this paper. Although the results of studies carried out in recent years show that alkali may attack some phyllosilicates, there is an insufficient evidence to confirm these minerals cause damaging expansion, it seems unreasonable to separate an unique type, alkali-silicate reaction. As a result, we suggest that alkali-aggregate reaction is divided into two types: alkali-silica reaction and alkali-carbonate reaction.

纪念国家自然科学基金十周年座谈会在京举行

近百名中外科学家在5月27日聚会人民大会堂，纪念国家自然科学基金创立十周年。中共中央书记处候补书记温家宝、国务委员宋健，全国政协副主席卢嘉锡等出席了纪念座谈会。国家自然科学基金委员会主任张存浩教授首先致辞。接着，诺贝尔奖获得者李政道教授应邀在会上做长篇发言，他结合世界科学发展的历史，着重阐述了科学技术是第一生产力的思想。他说，所有高科技成果的出现和应用，都是基础科学作用的结果。没有今日的基础科学，就没有明天的科技应用。他感谢国家自然科学基金会对北京正负电子对撞机的研究工作和中国高等科技中心工作的支持，并呼吁国家继续加强对基础科学研究的支持，增加经费投入。先后发言的有美国华人物理学会会长杨炳麟、王大珩、庄逢甘、何祚麻、杨乐、陈章良、曲绵域等老、中、青三代科学家。他们认为，国家自然科学基金能以有限的资金，取得那么多国内外瞩目的科研成果，是非常值得庆祝的。学部委员、著名数学家杨乐指出，科学基金支持了一大批从事基础科学研究的科学家，使他们得以安心地开展工作，从而促进了我国科学事业的发展。年轻的北京大学教授、生物学家陈章良也认为，科学基金，尤其是青年科学基金的设立，稳定了基础科学队伍，促进了人才成长。

在听取科学家的发言之后，温家宝发表重要讲话。

(宣传调研处 供稿)

A FORUM CONCERNING THE CELEBRATION OF THE 10TH ANNIVERSARY OF NSFC WAS HELD IN BEIJING