

建筑情报资料

第 7837 号

1978 年 10 月

刚性防水蓄水屋面的 设计 和 应用

西安冶金建筑学院

四川冶金设计院

四川省地质勘测设计院

四川省建筑材料科学研究所

四川省地质科学研究所

四川省建筑科学研究所

目 录

引 言

一. 蓄水屋盖现状	1
(一) 国内概况	1
(二) 国外概况	2
二. 刚性蓄水屋石的隔热问题	3
(一) 蓄水屋石的隔热作用	6
(二) 干热和湿热气候地区蓄水屋石的隔热状况	10
(三) 水层深度对蓄水屋石隔热状况的影响	18
(四) 种植水生植物的隔热能力	23
三. 刚性防水蓄水屋石的防水问题	30
(一) 水层保护防水层不致因干缩而出现裂纹	30
(二) 水层减少了防水层因温度剧烈波动而引起变形所产生的裂缝	30
(三) 水层保护嵌缝材料使之不致老化	31
四. 刚性防水蓄水屋石设计中的构造处理等问题	31

(一) 蓄水后的屋盖荷载	31
(二) 结构基层构件的选择	33
(三) 刚性防水层的选择	33
(四) 防水层的分格缝或分仓处理	34
(五) 泛水的处理	36
(六) 檐口高度	37
(七) 水层深度的选择	37
五. 施工和使用中应注意的几个问题	37
(一) 屋盖基层	37
(二) 防水层	38
(三) 充水试验和修补	39
(四) 充水和修理	39
六. 技术经济分析	39
七. 蓄水屋石内表面最高温度及其出现时间的计算	41
(一) $T_{n,max}$ 和 $Z_{tn,max}$ 计算式建立的思路	41
(二) $T_{n,max}$ 和 $Z_{tn,max}$ 的近似计算式	42
(三) 计算方法及分步计算式	44
(四) 计算实例	48
结 语	49

引 言

近年来,刚性防水蓄水屋盖在我国民用建筑中得到了进一步的应用和发展。但是,对其隔热、防水与技术经济等问题,尚无专文全面地予以讨论和分析。为利于推广和使用,本文主要根据四川地区的调查和实测结果,综合国内外的有关资料,就目前人们对南方地区开敞式蓄水屋盖所关心的几个问题,逐一作了介绍,并提出了屋面湿度的近似计算办法,可供设计 and 应用参考。

一. 蓄水屋盖现状

(一)国内概况

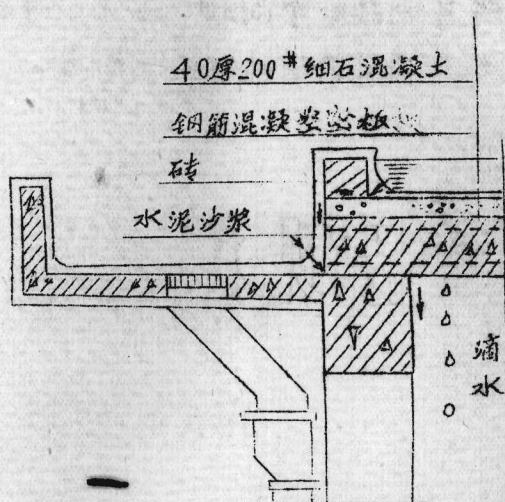
就四川地区十座城市 40 幢已使用六、七年以上时间的刚性防水蓄水屋盖的现状调查结果分析一般情况是:

1. 刚性防水蓄水屋盖主要用在民用建筑中,其中以住宅、教学楼和办公楼居多,约 90% 以上。
2. 屋盖基层多采用现制钢筋混凝土槽板及预应力铰空心板,其中有 90% 以上楼房的板是横向布置。
3. 刚性防水层一般都布有 $\Phi 4$, @ 200×200 的钢筋网

200# 细石砼浇筑，灰浆抹面；个别工程中加了三乙醇胺防水剂。防水层有用嵌缝油膏作分格缝，或用低矮的隔断作分仓处理的，一般厚度都比较矮。

4. 水层深度在 100 ~ 300 毫米范围内，多为 200 毫米。

5. 绝大部分无渗漏现象，只有 20% 的蓄水屋面充分试验即渗漏，但经蓄水一段时间后即自愈。渗漏原因主要在于构造设计不当，分格缝设置不合理，混凝土浇筑不密实，以及受理不善等。渗漏的主要部位在于透水处理（如釜—1）。从釜—1 看出，从防水层细石砼和砖缝隙内渗水，加之板缝混凝土不密实，水即沿板缝引起渗漏，修葺后已杜绝。



釜—1. 透水处理不当引起的渗水现象

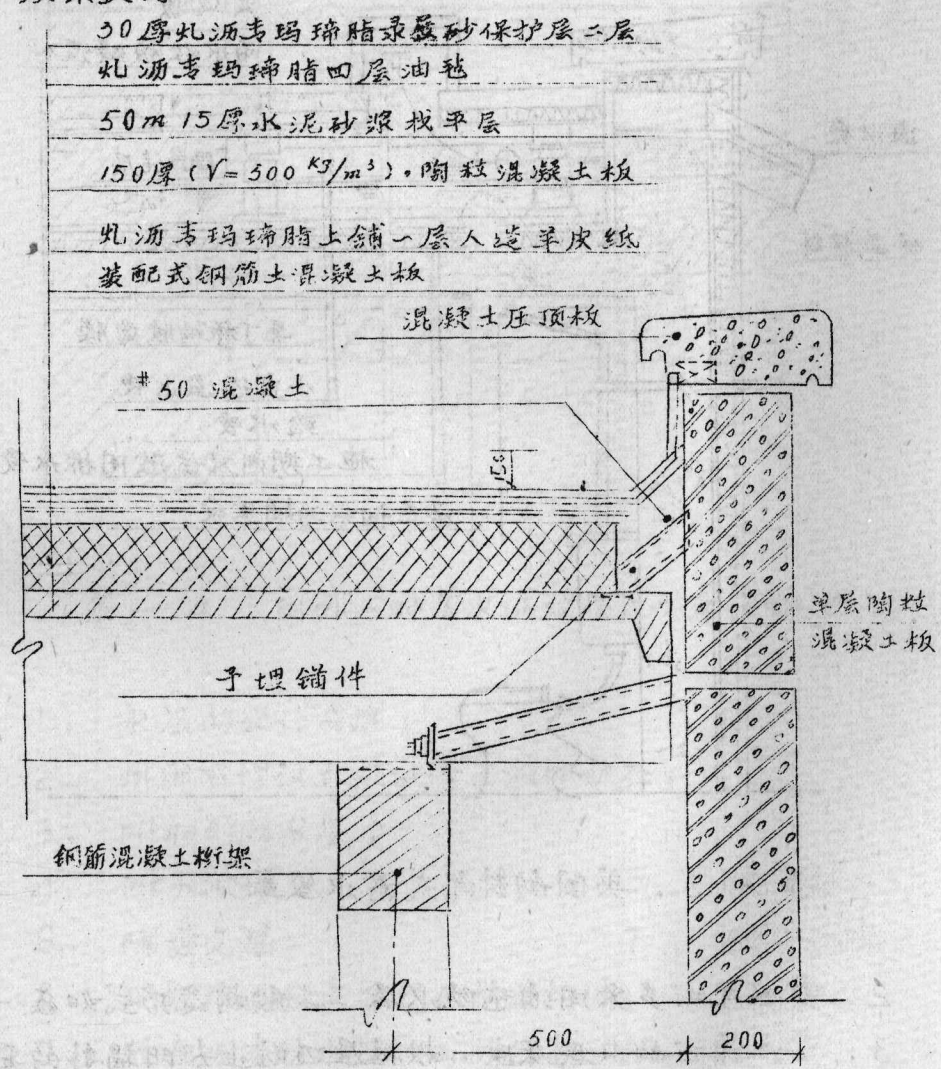
6. 已注意综合利用水层，如养鱼和栽培水生植物等。重庆气候炎热，在水层 200 毫米中的鱼仍生活正常。

7. 尚无蚊蝇孳生和环境过于潮湿的反映。

(二) 国外概况

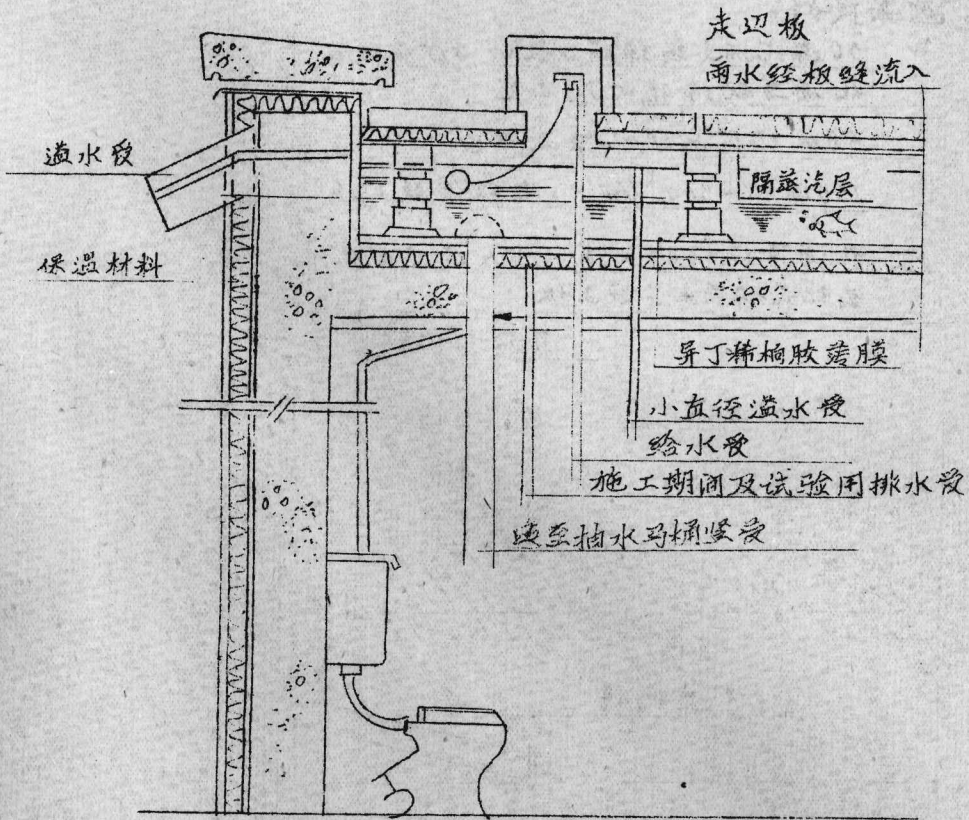
1. 由于屋顶蓄水后可防止建筑的顶层房间过热，可使屋内的防水由经常年处在水层的下面而不受太阳辐射的直接作用，大大提高了油漆层的耐久性；同时因为它还能避免传统平屋顶出现的一些问题，在国外，已作为一种推荐的屋顶构造。

造形式应用在工业和民用建筑中。苏联已大面积将蓄水屋面用于纺织厂或其它具有恒温、恒湿要求的房屋的屋顶上；在古比雪夫座标钻孔机床厂一个由6个24米跨，长198米，高约12米组成的主厂，房的全下密封下分的屋顶上也都采用了分仓的蓄水方式，其构造如条—2示，该项工程于1963年完成，经充分试验，效果良好。



条—2. 古比雪夫—工业建筑中采用蓄水屋面的构造形式

在英国，进一步发展采用保温的蓄水屋盖，如图—3所示，不仅可将储备的水用来冲洗厕所，还可能减少由于房屋的发展而提出的正常供水需要，而且也可以防御洪水的危害，为洪水易发地区建造房屋提供了可能。



图—3. 英国的封闭式蓄水屋盖

2. 蓄水屋盖多采用油毡防水层，一般构造形式如图—4。

3. 蓄水屋盖的水层深度，根据屋盖防止太阳辐射的要求，宜取30~100毫米，大多在100~300毫米范围内。其中，美国和加拿大多采用150毫米，苏联为100毫米，法国为250~300

毫米。

4. 未详细提出渗漏和其它有害的问题。

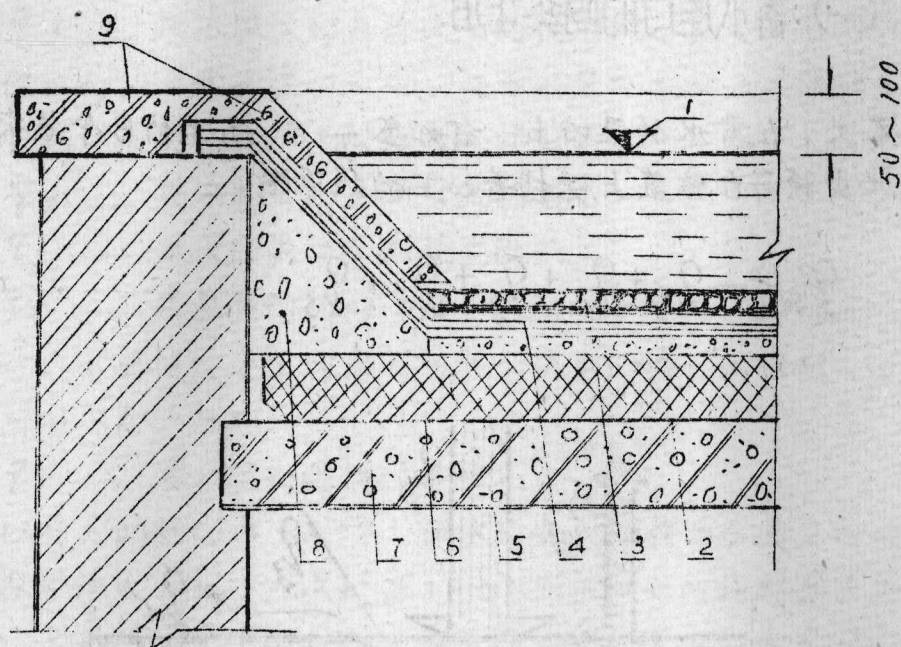


图 4 国外一种蓄水混合屋盖的构造细节

1. 水层的设计高度；
2. 用卵石埋设在热沥青内的保护层；
3. 附加的防水层；
4. 附水油毡；
5. 保温层；
6. 隔蒸气层；
7. 镀锌制板；
8. 用轻质混凝土予制的拼装构件；
9. 放在沥青防水层上的铝拼装板。

二. 刚性蓄水屋石的隔热问题

(一) 蓄水屋石的隔热作用

夏天, 在蓄水的屋石上, 有如图 — 5 所示的 6 个热交换量, 这些热交换量在屋盖上保持着如下的热平衡:

$$q_{\odot p} = q_f + q_d + q_z + q_c + q_s \text{ ----- (1)}$$

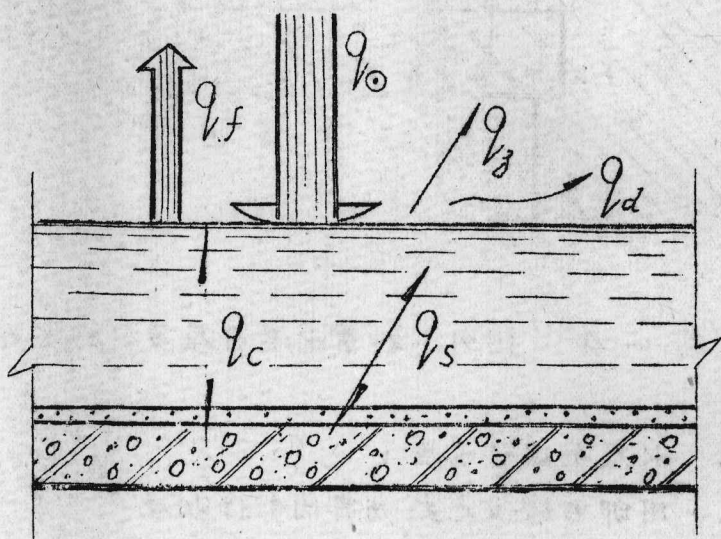


图 — 5 蓄水屋盖上的热交换量

其中:

$q_{\odot}$ —— 是作用在屋盖上的太阳幅射热, 以日为周期波动。 $q_{\odot}$ 到达水面时, 其中射值随入射角而增加, 约 4% 发生反射, 96% 射入水中, 然后经水层散射, 吸收而达到水底, 其中主要

是外波十分又再被屋盖的上表面所吸收，而只有很小一部分被反射。总计约吸收太阳辐射热的 90%，即对于防水面而言，可取蓄水屋面对太阳辐射的吸收系数 P 值为 0.9；

q_f —— 是水层表面向着大气的辐射流，它是大气的长波辐射日夜不停地向蓄水屋面入射，与蓄水屋面又以温度辐射冷却两种辐射热交换的合成，一般后者大于前者；

q_d —— 是水层表面上的对流换热；

q_j —— 是水层表面上的蒸发散热；

q_c —— 是屋盖结构的传热，包括两个方面，即当水温高于室温时，水层通过屋盖向室内传热；当室温高于水温时，室内通过屋盖向水层传热；

q_s —— 是水层和结构的蓄热。

仅受太阳辐射有 90% 被水层吸收而提高水温，但由于水的热容量较大，1 公斤水升高 1°C ，则需从太阳辐射热中夺取 1000 卡的热量（一般材料只需消耗 200 卡），而且水在蒸发时还要消耗大量的汽化热量（式中之 q_j ），同时由于水层表面还将通过对流与辐射方式与周围介质和大气进行热交换而散失一部分热量（即式①中之 q_d 和 q_f ），结果，将使作用在屋盖外表面上的热作用大大降低，通过屋盖进入室内的热量显著减少。

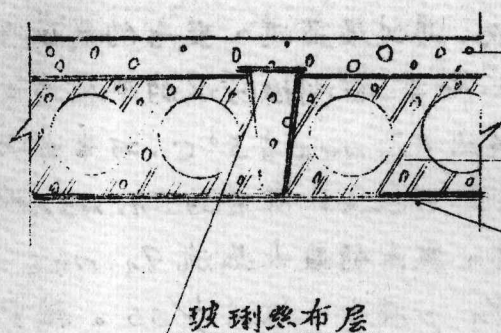
如表—1 和图—6 所示，在刚性防水的平屋顶上蓄水 100 毫米厚，其 $t_{w, \max}$ 约比 $t_{w, \max}$ 高 5°C ，而未蓄水时，其 $t_{w, \max}$ 则要比 $t_{w, \max}$ 高出 20°C 以上，两者的 $t_{n, \max}$ 亦相差约 8°C ；而且蓄水后通过屋盖进入室内的最大热流 $q_{n, \max}$ 仅及未蓄水时的 $1/3$ ，平均热流 $q_{n, p}$ 更少，仅及 $1/35$ 。按实测结果以 $t_{n, p}$ 的降低值进行计算，蓄上 100 毫米的水层后，可使屋盖结构的热阻相对提高约 128%，即由原来的 $R = 0.204 \text{ 米}^2 \cdot \text{小时}^\circ\text{C} / \text{千卡}$ 变为 $R_d = 0.45 \text{ 米}^2 \cdot \text{小时}^\circ\text{C} / \text{千卡}$ ，从而提高了屋盖的

同样构造的屋盖蓄水与不蓄水的热状况

表1

比较项目	单位	未蓄水	蓄水100毫米毫
$t_{w.max}$	$^{\circ}C$	57. ⁸	42. ⁹
Δt_w	$^{\circ}C$	16. ⁵	7. ⁹
$t_{n.max}$	$^{\circ}C$	48. ³	40. ⁷
Δt_n	$^{\circ}C$	9. ⁸	5. ⁵
$t_{n.min}$	$^{\circ}C$	32. ⁵	31. ²
$\Delta t_{w.max-t_{n.max}}$	$^{\circ}C$	15. ⁵	2. ²
$t_{w.max}$	$^{\circ}C$	38. ⁰	
Δt_w	$^{\circ}C$	4. ⁴	
$q_{n.max}$	千卡/米 ² 小时	42. ⁵	14. ⁸
$q_{n.min}$	千卡/米 ² 小时	-5. ⁰	-10. ⁵
$q_{n.p}$	千卡/米 ² 小时	13. ⁷	0. ⁴
R 或 R_d	米 ² 小时 $^{\circ}C$ /千卡	$R=0.204$	$R_d=0.450$
G	(隔热指标)	19. ⁶	32. ⁵

屋
盖
构
造
各



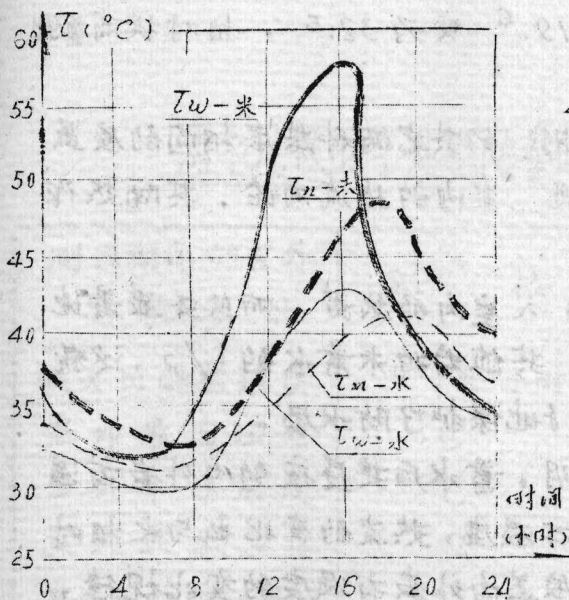
40厚#200细石砼加水泥
用0.05%的三乙醇胺。
内布置 $\phi 4$, @200x200
的钢筋网。
予应力砼空心板, 厚110
纸筋石灰浆粉刷, 厚13

实测地点

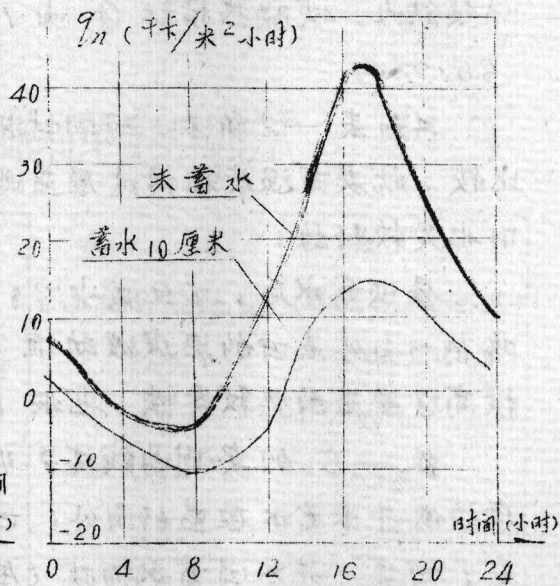
重庆沙坪坝

时间

1977年8月7日



1. 内外表面温度



2. 内表面热流

表—5 蓄水与不蓄水屋盖的温度和热流变化曲线

蓄水屋石与其它两种屋石的热状况比较

表—2

屋石形式 比较项目	蓄水15厘米厚 的屋石	蓄水屋石加铝箔 纸或天棚,水深15mm	堆土屋石 土厚18厘米
$T_{w, max}$ (°C)	42.9	42.9	47.9
ΔT_w (°C)	7.6	7.7	7.9
$T_{n, max}$ (°C)	39.1	41.7	41.3
ΔT_n (°C)	3.9	5.9	3.7
$\Delta T_{w, max} - T_{n, max}$	3.8 °C	1.2 °C	6.6 °C
$q_{n, max}$ (千卡/米²小时)	12.4	29.4	/
$q_{n, p}$ (千卡/米²小时)	0.63	5.0	/

隔热能力，使隔热指标 G 由 19.6 变为 32.5 ，相对提高约 66% 。

再如表—2所示，与同时测得的其它两种基层相同的屋盖比较，就表面温度和通过屋盖进入室内的热流而论，其隔热作用也是较好的。

屋顶蓄水后，不仅减少了传入室内的热量，而且还显著地降低了内外表面的温度波动值，其值约为未蓄水的 $1/2$ ，这就提高了屋盖的热稳定性，也很有效地保护了防水层。

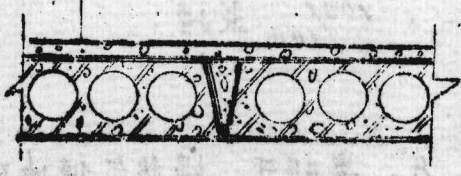
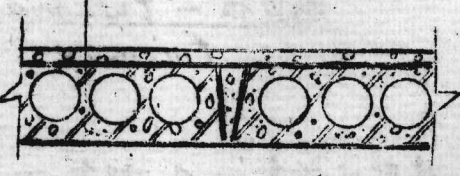
图—6的实测曲线还表明，蓄水后其昼夜的内外表面温度均低于未蓄水屋盖的内外表面温度，热流的变化也与之相对应；而且，并不因蓄水而改变屋盖内外表面温度的变化规律，蓄水后 $T_n > T_w$ 的时间与未蓄水时 $T_n > T_w$ 的时间基本一致。这说明，即使象重庆这样比较典型的湿热气候地区，蓄水屋盖不仅在白天有好的隔热作用，在夜间也有一定的散热能力。

(二) 干热和湿热气候地区蓄水屋盖的炎热状况

已有资料表明，在夏天中午前后，蓄水屋盖上的蒸发耗热可占屋顶吸收之辐射热的 75% ，说明蒸发耗热是屋盖蓄水后，使屋顶外表面温度在强烈的太阳辐射下不致产生急剧上升的主要因素之一。而水面的蒸发散热量与风速和相对湿度有关，风速大，相对湿度小则蒸发量就大，反之就少。干热气候地区不仅日温差较大，而且午间风速亦较大，湿度较小，所以很有利于水面的蒸发，采用蓄水屋盖其隔热效果就更为显著。

为便于比较和说明问题，分别将两个地区的室外气候测验数据及屋盖形式列于表—3，并以两个气候地区测验期间的室外最高气温作比较依据，将实测结果列表，绘于表—4和图—

两个地区的室外气候参数和屋盖结构形式 表—3

测定期间的室外 气候参数	单 位	重 庆	渡 口
		(湿热气候地区)	(干热气候地区)
最大日辐射强度	千卡/米 ² ·小时	720. ⁰	665. ⁶
室外最高温度	°C	38. ⁰	33. ⁶
室外平均温度	°C	33. ⁰	24. ⁷
室外最低温度	°C	28. ⁰	15. ⁷
室外平均相对湿度	%	57. ⁰	46. ⁰
最小相对湿度/出现时间	%/小时	38 / 16小时	30. / 14~15时
室外平均风速	米/秒	0.7	1.0
水 蒸 发 量	厘米/日	0.8	1.0
日 志	年、月、日	1977.8.7	1976.5.8
屋 盖 结 构 形 式	重 庆		渡 口
	40厚#200细石砼		40厚#200细石砼
	110厚予应铃空心板		150厚铃空心板
	13厚纸筋石灰浆粉刷		石灰浆粉刷
			

干、湿热气候地区蓄水屋瓦的热状况比较

表—4

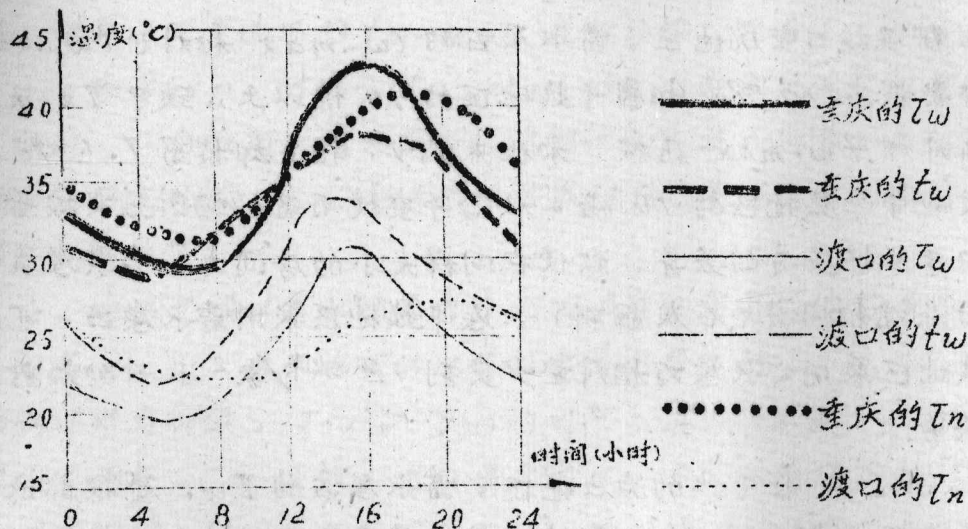
比 较 项 目	单 值	重庆的蓄水屋盖(100毫米)		渡口的蓄水屋盖(100毫米)	
		测定值	相对于 t_w 的 变化率(%)	测定值	相对于 t_w 的 变化率(%)
$t_{w.max}$	$^{\circ}\text{C}$	38.0	0.0	33.6	0.0
$\tau_{w.max}$	$^{\circ}\text{C}$	42.9	*+13.0	34.0	*+1.2
$A\tau_w$	$^{\circ}\text{C}$	7.9	/	10.1	/
$\tau_{n.max}$	$^{\circ}\text{C}$	40.7	*+7.1%	27.6	*-1.8
$A\tau_n$	$^{\circ}\text{C}$	5.5	/	3.0	/
$\Delta\tau_w-n$	$^{\circ}\text{C}$	4.5	/	6.4	/
$q_{n.mon}$	千卡/米 ² ·小时	14.8	*-6.1	11.5	*-6.6
$q_{n.min}$	千卡/米 ² ·小时	-10.5	*-13.0	-15.0	*-14.5
$q_{n.p}$	千卡/米 ² ·小时	0.40	*-9.9	-3.8	*-11.1
测 定 对 象		重庆建筑工程学院机电楼		渡口北碚指挥下单身宿舍	
测 定 时 间		1977年7月~8月		1976年5月7日~9日	

注：表中带*者，“+”号表示相对于室外气温 $t_{w.max}$ 的提高率，“-”号表示相对于 $t_{w.max}$ 的降低率，其值用

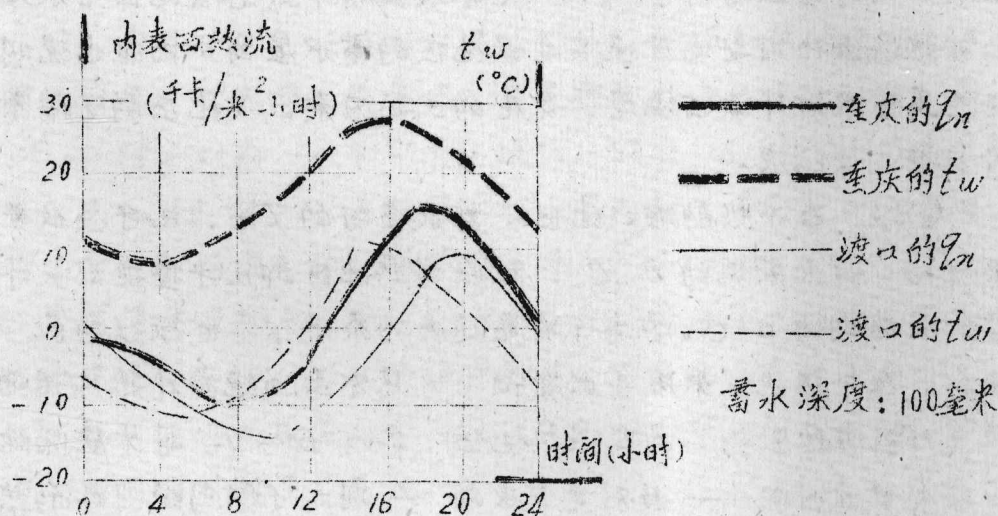
$$\frac{\text{测定值} - t_{w.max}}{t_{w.max}} \times \frac{100}{100} \text{ 求得。}$$

对照分析表—4 和表—7, 8, 表明干、湿热气候地区相同结构形式和水层深度的蓄水屋瓦夏季的热状况, 有如下几条特征:

蓄水深度 100 mm



图—7 屋盖内、外表温度与室外气温之间的变化关系



图—8 进入室内的热流与室外气温之间的变化关系

1. 干热地区比湿热地区的蓄水屋面散热降温作用显著, 表现在:
 - (1). 干热的渡口地区, 蓄水屋面的 $T_w \cdot \max$ 相对于 $t_w \cdot \max$

提高约 1.2%， $T_{n.max}$ 相对于 $t_{w.max}$ 降低约 1.8%，而在湿热的重庆地区，蓄水屋面的 $T_{w.max}$ 相对于 $t_{w.max}$ 都要提高 13%，相当于热地区的 10 倍以上，致于 $T_{n.max}$ 相对于 $t_{w.max}$ 比较，不但未减少，相反却提高 7.1%，亦近似于干热地区的 10 倍。从给予室使用者的辐射热交换考虑，由于这样显著的差异，致使在同样大小的房间内，当其屋面内表面状况相同时（石灰粉刷），在干热地区采用蓄水屋面，可以湿热地区采用蓄水屋面相对要少受到 12 大卡/米² 小时的辐射热交换量；

(2) 在干热的渡口地区，蓄水屋面的 T_w ，昼夜都低于室外空气温度 t_w ，波动规律和差值基本上保持在相同的范围内，而湿热地区重庆之蓄水屋面的 T_w ，除清晨 6~10 时外，其余时间均高于室外气温 t_w ，最大相差约 5°C，与干热气候地区比较，相对差值约为 8°C。这不仅表明干热气候地区蓄水屋面的散热降温作用要优于湿热气候地区的蓄水屋面，而且也说明引起屋面蓄水后外表面温度变化的主要因素，是地区的气候条件，而不是水层深度。

(3) 在干热的渡口地区，蓄水屋面的 T_n ，几乎昼夜都小于 t_w ，最大差值约 9°C，而在湿热地区却几乎昼夜都大于 t_w ，最大差值约为 4°C。在南方自然通风的条件下，可以认为 $t_w \approx t_n$ ，那么，在干热地区采用蓄水屋顶，可基本上隔绝室外热作用通过屋面对室内的影响，而在湿热地区，只有 6~14 时才能隔绝，其余大部分时间——特别是在夜间——则不可能隔绝室外的热作用对室内的影响。

2. 实际上，如表 8 示，无论干、湿热气候地区，采用蓄水屋面不可能隔绝室外热作用的影响，差异仅在于干热气候地区传入室内的热量少，时间短；湿热气候地区传入的热量多，时